



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Tratamento e distribuição do ar em sistemas de climatização

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Vladmir Elisângelo Fernandes de Brito

Júri

Presidente:	Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira
Orientadores:	Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela Professor Doutor José Joaquim da Costa
Vogal:	Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Coimbra, Julho, 2010

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, gostaria deixar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma directa ou indirectamente, contribuíram para todo o meu percurso em Engenharia Mecânica e, em particular, a realização desta dissertação.

Aos meus orientadores e professores Divo Quintela e José Costa, agradeço o acompanhamento rigoroso e metódico, bem como a disponibilidade que sempre mostraram durante todo o período de trabalho.

Ao engenheiro Filipe Beirão, que, em nome da empresa Sandometal, sempre se mostrou disponível e um colaborador de grande importância, fornecendo informação da maior relevância para a concretização deste trabalho.

Ao professor doutor António Raimundo, ao engenheiro Mário Mateus, à doutora Ana Ramos e à doutora Lúcia Cardoso, um expresso muito obrigado pela ajuda e a disponibilidade mostradas.

A todos os meus amigos e colegas de curso e à minha família, em particular, aos meus avós Domingos, Paula e Benvinda, pela consideração e por terem acreditado em mim.

Às minhas tias Maria Isabel e Malvina, aos meus tios Aldino, Júlio e Ovídio, aos meus primos, principalmente o Vladimir, pelo encorajamento, pela ajuda e pela confiança em mim depositada.

E, muito em especial, à minha mãe, Maria Da Luz e ao meu irmão, Edí Patrick, pelo amor e pela confiança. Sem eles, nada disso seria possível. Obrigado mãe! Obrigado meu irmão!

"I have a dream that my four little children will one day live in a nation where they will not be judged by the color of their skin, but by the content of their character."

(August 28, 1963)

Martin Luther King

RESUMO

Esta dissertação é dedicada ao estudo do tratamento e distribuição de ar em sistemas de climatização central, essencialmente o desenvolvimento de um laboratório de ensaios de Unidades de Tratamento de Ar. Começa-se por evidenciar alguns princípios relevantes sobre a implicação da qualidade do ar interior na segurança e higiene no trabalho. Descreve-se o princípio de funcionamento e a classificação de Unidades de Tratamento de Ar, a partir de bibliografia diversa.

Procede-se a uma análise das normas europeias de ensaios e de certificação, e apresentam-se os principais critérios de análise e de avaliação do desempenho de Unidades de Tratamento de Ar. Numa perspectiva complementar, recorre-se aos requisitos definidos pelas normas e directivas europeias de ensaios e certificação para desenvolvimento do capítulo, dedicado ao anteprojecto do laboratório em si, onde são apresentados os parâmetros a serem avaliados, as montagens e formas de tratamento e apreciação dos resultados. E, como forma de evidenciar a importância de uma futura implementação de instalações de ensaios em território nacional, a redacção é complementada com um capítulo sobre a análise económica do projecto.

Palavras-chave: *Unidades de Tratamento de Ar; ensaios de certificação; laboratório de ensaios.*

ABSTRACT

This dissertation is dedicated to the study of the treatment and distribution of air in central air-conditioning systems, mainly the development of a laboratory testing of air handling units. It begins by highlighting some important principles on the impact of indoor air quality, safety and hygiene at work. It begins to show some relevant principles about the implication of indoor air quality in safety and hygiene at work. It describes the operating principle and the classification of air treatment units, from diverse bibliography.

It subjected to an analysis of European standards, testing and certification, and sets out the main criteria for analyzing and evaluating the performance of Air-handling Units. A complementary perspective control requirements set by European standards and directives, testing and certification for development of the chapter dedicated to the preliminary draft of the laboratory itself, where are the parameters to be assessed, the mounts and forms of treatment and assessment of the results. And, as a way to highlight the importance of a future implementation of test facilities within its territory, the wording is complemented with a chapter on economic analysis of the project.

Keyword: Air Handling Units, Certification tests, Laboratory tests.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
CAPITULO II	VIII
CAPITULO III.....	IX
ÍNDICE DOS ANEXOS.....	IX
ANEXO B.....	IX
ANEXO D.....	IX
NOMENCLATURA.....	X
CAP. I. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2 ENQUADRAMENTO.....	2
1.3 MOTIVAÇÃO	2
1.3.1 <i>Qualidade do ar interior</i>	3
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
CAP. II. UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – FUNDAMENTOS, CARACTERÍSTICAS E NORMALIZAÇÃO	5
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UTAS E DO SEU FUNCIONAMENTO.....	6
2.3 CONFIGURAÇÕES DE UTAS	7
2.3.1 <i>Unidade simples ou multizonas</i>	8
2.3.2 <i>Unidade de via simples ou de via dupla</i>	9
2.3.3 <i>Unidade de caudal de constante vs unidade de caudal variável</i>	11
2.4 CERTIFICAÇÃO DE UTAS – NORMAS EUROPEIAS	13
2.4.1 <i>Requisitos de Ensaio</i>	13
2.4.2 <i>Termos e definições</i>	14
2.4.3 <i>Área de aplicação</i>	14
2.5 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UTAS	15

2.5.1 Critério de análise do desempenho de uma UTA.....	15
A – Resistência mecânica.....	16
B – Fugas de ar na estrutura	17
C – Perdas de ar no filtro.....	18
D – Desempenho térmico.....	19
2.5.2 Avaliação do desempenho de UTAs	21
2.6 NOTAS CONCLUSIVAS	22
CAP. III. PROJECTO DE UM LABORATÓRIO DE ENSAIOS DE UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – ESTUDO PRÉVIO	23
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	23
3.2 ENSAIOS DE CERTIFICAÇÃO	24
3.2.1 Resistência Mecânica da estrutura	25
3.2.2 Fugas de ar na estrutura.....	25
3.2.2.1 Procedimento de ensaio.....	26
3.2.2.2 Taxas de fuga admissíveis.....	26
3.2.3 Perdas no filtro.....	27
3.2.3.1 Passos de ensaio	27
3.2.4 Avaliação do desempenho térmico.....	28
3.2.4.1 Procedimento de ensaio.....	29
3.2.5 Avaliação dos resultados de ensaio	30
3.2.6 Isolamento acústico da unidade	31
3.2.7 Desempenho aerodinâmico.....	32
3.2.7.1 Preparação da câmara de ensaio.....	32
3.2.7.2 Medições	32
3.2.8 Avaliação acústica de UTA.....	33
3.2.8.1 Condutas.....	33
3.2.8.2 Condições de caudal do ar.....	33
3.2.8.3 Passos de ensaio	33
3.2.9 Tolerâncias.....	35
CAP. IV – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRO DO PROJECTO DO LABORATÓRIO DE ENSAIOS.....	36
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	36
4.2 MERCADO NACIONAL DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIA AVAC.....	37

4.3 FASE DE ORÇAMENTO	38
4.3.1 Custos de investimento e custos actuais de ensaios.....	39
I – Custo de aluguer de espaço e custo com o pessoal	40
II – Custo de acreditação do laboratório de ensaios	41
4.4 AVALIAÇÃO DO PROJECTO DO LABORATÓRIO	42
4.5 CERTIFICAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ENSAIO	46
CAP.V – CONCLUSÃO	47
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	50
ANEXO A (INFORMATIVO) – NORMAS ISO E EN RELACIONADAS COM UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR.....	50
ANEXO B – ENSAIOS DE FUGAS NOS FILTROS – CASOS PARTICULARES	51
B1 – Filtros a jusante do ventilador.....	51
B2 – Filtros localizados a montante do ventilador – pressão negativa.....	53
B3 – Unidades providas de recuperador de calor	54
ANEXO C – CORRECÇÃO NA EXTREMIDADE DA CONDUTA PARA ATENUAÇÃO DO RUÍDO TRANSMITIDO	55
ANEXO D (INFORMATIVO) – DISPOSIÇÃO E REQUISITOS PARA VENTILADORES DE CIRCULAÇÃO	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Critérios de teste e classificação de UTAs. (Adaptado de: EN 1886).....	15
Tabela 2. Classes de classificação de resistência mecânica de UTAs. (Adaptado de: EN 1886)	16
Tabela 3. Valores de referência para ensaios de pressão. (Adaptado de: EN 1886).....	16
Tabela 4. Classe de fugas de unidades testadas a 400 Pa. (Adaptado de: EN 1886)	17
Tabela 5. Taxas de fugas de unidades testadas a 700 Pa. (Adaptado de: EN 1886)	17
Tabela 6. Caudal volúmico de ar (q_{nom}) na secção do filtro. (Adaptado de: EN 1886).....	19
Tabela 7. Valores admissíveis de taxas de fugas no filtro ensaiados a 400 Pa. (Adaptado de: EN 1886)	19
Tabela 8. Classificação do coeficiente de transmissão térmica de UTAs. (Adaptado de: EN 1886).....	20
Tabela 9. Classificação das pontes térmicas de UTAs. (Adaptado de: EN 1886)	20
Tabela 10. Avaliação dos resultados	30
Tabela 11. Tolerâncias aplicáveis no ensaio de avaliação de desempenho de UTAs. (Adaptado de: EN 13053:2001)	35
Tabela 12. Estimativa de custos de equipamentos de ensaios e medições, para a quantificação do custo de investimento inicial	39
Tabela 13. Outros custos anuais do laboratório.	43
Tabela 14. Período de retorno do investimento.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2-1. Uma imagem típica de uma UTA com retorno de ar, realçando os componentes principais. (Adaptado de: Shan K. Wang, 2001).....	6
Figura 2-2. Representação esquemática de configurações de UTAs, consoante a localização do ventilador de insuflação. (Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008).....	8
Figura 2-3. Unidade de via dupla, com reaquecimento terminal do ar – Caudal de ar constante. (Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008).....	10

Figura 2-4. Unidade de via dupla e duplo fluxo (ventilador único). (Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008).....	10
Figura 2-5. Unidade de ar multizonas – Caudal de ar variável. (Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008).....	11

CAPITULO III

Figura 3-1. Deflexão de painéis e da estrutura de UTAs (Adaptado de: EN 1886:2007).....	25
Figura 3 - 2. Montagem de uma UTA para ensaio de fugas. (Adaptado de: EN 1886:2007)..	25
Figura 3 - 3. Método da supressão de células de filtros. (Adaptado de: EN 1886:2007).....	27
Figura 3 - 4. Zonamento e instalação de equipamentos de medição, dimensões em milímetro. (Adaptado de: EN 1886:2007)	29
Figura 3 - 5. Montagens para ensaios acústicos de UTAs. (Adaptado de: EN 13053:2001)...	33
Figura 3 - 6. Montagem para medição de ruído transmitido às condutas, pela unidade. (Adaptado de: EN 13053:2001)	34

ÍNDICE DOS ANEXOS

ANEXO B

Figura B- 1. Montagem de unidade para ensaios de estruturas com filtros a jusante do ventilador – Primeira etapa. (Adaptado de: EN 1886:2007)	51
Figura B- 2. Montagem de unidade para ensaios de estruturas com filtros a jusante do ventilador – Segunda etapa. (Adaptado de: EN 1886:2007)	52
Figura B- 3. Montagem para teste de unidade com filtro a montante do ventilador. (Adaptado de: EN 1886:2007)	53
Figura B- 4. Montagem para teste de unidade com recuperador de calor. (Adaptado de: EN 1886:2007)	54

ANEXO D

Figura D-1. Arranjo com 4 ventiladores, principio. (<i>Adaptado de: EN 1886:2007</i>)	56
Figura D-2. Postulado do arranjo com 6 ventiladores. (<i>Adaptado de: EN 1886:2007</i>)	56
Figura D-3. Arranjo básico com 8 ventiladores (<i>Adaptado de: EN 1886:2007</i>)	57

NOMENCLATURA

Mesmos símbolos com significados diferentes são distinguidos de forma clara tendo em conta o contexto em se insere.

Acrónimos

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

QAI – Qualidade do Ar Interior

IPQ – Instituto Português da Qualidade

SSV – Seguro Social de Voluntário

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação

IAS – Indexante dos Apoios Sociais

SPQ – Sistema Português da Qualidade

FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia

IVA – Imposto sobre o valor acrescentado

CAV – Volume de ar constante (Constant air volume)

VAV – Volume de ar variável (Variable air volume)

TB – Thermal Bridging

Caracteres Romanos

f – Taxa de fuga à pressão de ensaio [$l/m^2.s$]

q – Caudal volúmico de ar que atravessa a secção do filtro [m^3/h]

k – Percentagem de desvio da taxa de fuga [%]

p – Pressão [Pa]

$V_{máx}$ – Velocidade máxima de descarga de ar [m/s]

$V_{méd}$ – Velocidade média de descarga [m/s]

U – coeficiente de transmissão térmica [W/m^2K]

A – área da unidade de tratamento de ar [m^2]

c – Velocidade do som no ar [m/s]

q_{it} – Fuga total através do filtro [m^3/h]

q_{lf} – Soma das fugas através das juntas entre as células de filtros e a estrutura da UTA [m^3/h]

q_l – Soma total das fugas através da estrutura da UTA [m^3/h]

P_{el} – Potência eléctrica de aquecimento e alimentação do ventilador [W]

L_e – Correção na extremidade de conduta para atenuação de ruído transmitido á conduta pela UTA [m]

t_i – Temperatura do ar interior [$^{\circ}C$]

t_a – Temperatura do ar [$^{\circ}C$]

t_e – Temperatura do ar exterior [$^{\circ}C$]

L_B – Nível de potência sonora [dB]

D_p – Perda por inserção do som [dB]

Δt – Diferença de temperatura [$^{\circ}C$]

k_b – Pontes térmicas associadas ao projecto estrutural

CAP. I. INTRODUÇÃO

Tecem-se considerações sobre o tema tratamento e distribuição de ar em sistemas de climatização. Destaca-se a importância da realização de ensaios de certificação de Unidades de Tratamento de Ar. Em fecho realçam-se a importância e as implicações da qualidade de ar no ciclo de vida de um edifício e na saúde dos seus ocupantes e a organização estrutural da dissertação.

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A saúde e segurança no trabalho são, desde sempre, aspectos intimamente ligados ao ser humano e à sua actividade. Actualmente, a saúde e a segurança no trabalho são encarados no mesmo plano e exibem perspectivas multifacetadas que se repercutem nos domínios sociais e económicos.

Ao longo de tempos, registaram-se desenvolvimentos na melhoria da qualidade dos serviços prestados por aqueles que na sua actividade diária usufruem de um ambiente “minimamente confortável”. Isto fez com que aumentassem as preocupações associadas aos efeitos da qualidade do ar na saúde humana. A primeira grande preocupação com a qualidade do ar tem geralmente em conta a poluição do ar atmosférico, exterior. Mas, na maioria das vezes, as pessoas passam grande parte do dia em ambientes interiores: em casa, nos transportes, em zonas comerciais, nos locais de trabalho, etc.

Nesses ambientes interiores, o desenvolvimento de microrganismos, o uso de materiais de limpeza, a existência de equipamentos poluentes, a ocupação humana e principalmente a deficiente ventilação (renovação do ar), são contributos para o aumento acentuado da concentração de poluentes no ambiente interior. Por estas e outras razões, tem-se verificado uma preocupação crescente relacionada com a problemática da qualidade de ar interior (QAI). Mas, a QAI não depende apenas do nível de concentração de poluentes (dióxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, entre outros), também da percepção que cada um tem e faz sobre a qualidade e sanidade do ar que respira. (*Agência Portuguesa do Ambiente, Março de 2010*)

1.2 ENQUADRAMENTO

A Qualidade do Ar Interior nos edifícios é um dos agentes essenciais do conforto dos utilizadores e tem grande influência na sua saúde. Pelo que a QAI deve ser avaliada periódica e sistematicamente a fim de garantir os requisitos mínimos de boa qualidade e sanidade do ar. As auditorias da Qualidade do Ar Interior nos edifícios e espaços abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação encontram-se especificadas e definidas no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – Decreto-Lei n.º 79/2006 de 04 de Abril.

As auditorias QAI são realizadas por Peritos Qualificados QAI, devidamente credenciados (artigos 7º e 8º do Decreto-Lei n.º 78/2006), com os seguintes objectivos:

- Inspecção da Qualidade do Ar Interior – definindo as condições de conforto térmico e higiene.
- Avaliação do desempenho das instalações de tratamento e distribuição de ar – verificando o cumprimento das exigências de eficiência energética e a garantia dos meios para manutenção de uma boa qualidade de ar interior durante a fase de projecto, instalação e também a fase de funcionamento da instalação.
- Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição de eficiência energética e da qualidade de ar interior dos edifícios.

1.3 MOTIVAÇÃO

O tratamento e a distribuição de ar representam duas funções de relevância primordial em sistemas de climatização central. As exigências de conforto térmico e de qualidade do ar dependem em grande medida do funcionamento adequado dos componentes que asseguram aquelas funções: a unidade de tratamento de ar (UTA), e a rede de distribuição (condutas, registos, difusores, etc.).

É muito importante para quem compra ou vá utilizar uma instalação, no caso Unidades de Tratamento de Ar, que tenha a garantia de que os preceitos especificados pelos fabricantes cumprem as normas e exigências que o produto deve preencher.

A realização de um ensaio de aprovação e certificação de qualquer instalação ou componente em particular visa, não só a adequação às normas e exigências, mas também vários aspectos relacionados com o seu funcionamento. Isto é, desde os consumos especificados no projecto e também a saúde e segurança de utilização no futuro.

1.3.1 Qualidade do ar interior

Na luta para construir edifícios de baixos custos, é fácil esquecer que o êxito ou fracasso de um projecto assenta na sua qualidade de ar interior (QAI). Saudáveis e invariavelmente mais produtivos, são os ocupantes que na sua actividade diária usufruem de um ambiente com boas condições. Infelizmente, essa verdade simples muitas das vezes é esquecida, pois é mais fácil focar no custo do projecto do que no desempenho dos utilizadores. Mas, como o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 04 de Abril) impõe, os edifícios devem ser projectados e construídos com uma apreciação da importância da qualidade do seu ambiente para todos os seus ocupantes.

Uma das técnicas que garante uma qualidade de ar adequada é a *ventilação controlada* que, em vez de definir o rendimento de ventilação a uma taxa de renovação de ar fixa, utiliza mecanismos de controlo da taxa de dióxido de carbono de forma dinâmica, com base nas emissões actuais do edifício e na sua ocupação.

Nos últimos anos, muito se tem discutido sobre a definição adequada da qualidade de ar interior e, especificamente, o que constitui uma “qualidade de ar aceitável”.

A QAI pode ser afectada por contaminantes microbianos (fungos, bactérias), gases (incluindo monóxido de carbono, radão e compostos orgânicos voláteis), partículas ou qualquer massa que possa causar complicações adversas a nível da saúde humana. O uso da ventilação por diluição dos contaminantes, filtração, controlo e a gestão da humidade, são os principais métodos para melhorar a qualidade de ar interior, na maioria dos espaços e edifícios. A determinação da QAI envolve uma colheita de amostras de ar, monitoramento da exposição humana aos poluentes e a modelação do caudal de ar no interior dos espaços (edifícios).

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação tem por objectivo o estudo do tratamento e distribuição do ar em sistemas de climatização, e uma análise exaustiva das últimas exigências da regulamentação europeia e a sua aplicação no desenvolvimento de um anteprojecto de um laboratório de ensaios de Unidades de Tratamentos de Ar. De forma sucinta, apresentam-se a seguir os objectivos de cada capítulo:

O capítulo I consiste na introdução das noções base, a começar pelos conceitos de higiene e segurança no trabalho, tendo-se incidindo sobre a qualidade do ambiente de trabalho, que se apresenta como agente principal no conforto, no desempenho e na saúde dos ocupantes.

O Capítulo II é dedicado à apresentação, descrição, caracterização do funcionamento das unidades de tratamento de ar. Apresentam-se algumas considerações de projectos com base em bibliografia diversa. A concluir o capítulo, as normas base de ensaios e certificações de unidades de tratamento de ar vão ser introduzidas e apresentados os diferentes tipos de ensaios a serem executadas, as variáveis a medir e quantificar assim como os requisitos a cumprir, para a certificação.

Os tipos de ensaios e os parâmetros estabelecidos no capítulo II servem de base para o capítulo seguinte, onde se desenvolve o estudo prévio e são apresentados os princípios fundamentais de ensaios e adequação de equipamentos e instalações às normas de referências, definindo de forma clara os procedimentos de ensaio, as montagens e a calibração dos equipamentos (precisão e tolerância de medição). E, também, algumas indicações sobre a avaliação e apresentação dos resultados de ensaio.

No quarto capítulo é feita a análise financeira e a viabilidade do projecto em estudo, isto para se ter a garantia da rentabilidade e o próprio reembolso do capital investido. A análise financeira e económica do projecto de instalação de ensaios feitos neste capítulo leva em conta dados e testemunhos de empresas do sector em território nacional.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões finais sobre o trabalho, a viabilidade e rentabilidade da implementação do laboratório de ensaio e certificação de UTAs em Coimbra.

Para finalizar a dissertação, seguem-se os anexos, com assuntos não menos importantes, mas complementares. Neles se apresentam, para além de várias informações de casos particulares de montagens e alguns processos a seguir nos ensaios, algumas indicações meramente informativas sobre as várias normas europeias (EN) e as ISO ligadas ao tratamento e distribuição do ar em sistemas de climatização.

CAP. II. UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – FUNDAMENTOS, CARACTERÍSTICAS E NORMALIZAÇÃO

Neste capítulo, apresentam-se os tipos de Unidades de Tratamento de Ar e as configurações mais comuns. Descrevem-se algumas considerações sobre o projecto de sistemas e procede-se à apresentação dos principais componentes de uma Unidade de Tratamento de Ar.

Introduzem-se as normas de referência para ensaios e certificações e, de forma detalhada, os principais critérios de teste e de classificação de UTAs.

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Uma Unidade de Tratamento de Ar engloba diversos componentes e funções de ventilação mecânica e também de condicionamento de ar. Assim, uma UTA inclui os sistemas de aquecimento e/ou de arrefecimento, em conjunto com um ventilador, um humidificador e um sistema de recuperação de energia, podendo ainda dispor de uma câmara de mistura do ar novo com o recirculado.

Os edifícios novos ou de construção recente necessitam do condicionamento de ar para garantir o conforto e a qualidade de ar interior aos ocupantes. Com o uso crescente de equipamentos eléctricos e electrónicos (e.g., computadores, impressoras a laser, iluminação) e a construção de edifícios cada vez maiores, os ganhos internos tornaram-se um factor dominante, requerendo, assim, um controlo rigoroso das condições interiores independentemente da época do ano.

Os sistemas tudo ar satisfazem as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento com insuflação de ar quente ou frio previamente tratado a nível central, conforme as necessidades de condicionamento dos espaços. Em vez de sistemas tudo ar, ou como complemento deles, podem também ser usados sistemas a água no condicionamento térmico do ar interior de um edifício. Como o ar tem menor capacidade calorífica do que a água, são necessários maiores caudais de ar para satisfazer as mesmas necessidades térmicas. Porém, em compensação, os sistemas a ar apresentam uma vantagem face aos sistemas tudo água: neles é possível incorporar a ventilação, bem como o controlo da humidade do ar interior. O maior inconveniente dos sistemas a ar está relacionado com a necessidade de maior espaço para alojamento das condutas de distribuição e das unidades de tratamento de ar (Jan F. Kreider, 2000).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UTAs E DO SEU FUNCIONAMENTO

Uma Unidade de Tratamento de Ar engloba os componentes e funções de ventilação mecânica e condicionamento de ar, como ilustra a figura seguinte.

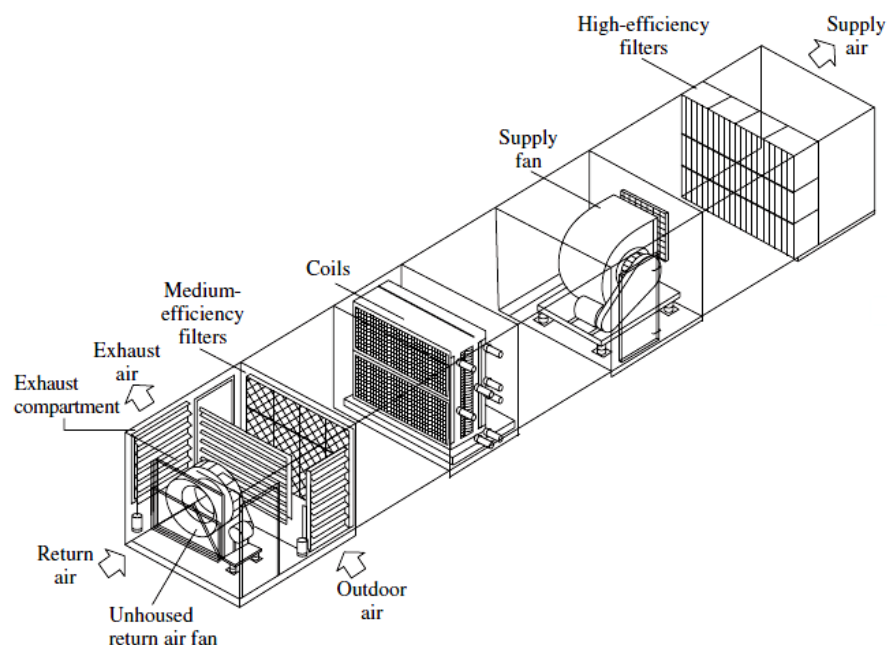


Figura 2-1. Uma imagem típica de uma UTA com retorno de ar, realçando os componentes principais. (Adaptado de: Shan K. Wang, 2001)

Ventilador de Insuflação (Supply Fan) – um dos componentes principais da unidade que funciona como o motor do caudal de ar.

Baterias de aquecimento e/ou arrefecimento (Coils) – dependendo da localização e da época do ano, para além da insuflação de ar novo (renovação do ar interior) pode ser necessário corrigir as cargas térmicas interiores, por aquecimento (operando unicamente a alteração da temperatura do ar) e/ou por arrefecimento (operando uma alteração da temperatura e também da humidade relativa do ar novo a insuflar).

Filtros (Filters) – no conjunto dos componentes de uma unidade de tratamento e distribuição de ar, os filtros apresentam-se como os mais importantes, pois, além de serem responsáveis pela garantia da boa qualidade do ar novo insuflado (removem partículas sólidas em suspensão, como poeiras, pólenes, bolores e bactérias) e, devido à sua localização estratégica, mantêm limpos os restantes componentes da unidade.

Humidificadores (Humidifier) – necessários em climas secos, onde o aquecimento contínuo de ar origina um ar interior de má qualidade e grande desconforto dos ocupantes do espaço climatizado, bem como o aumento da electricidade estática do ar.

Câmara de mistura (Mixing box) – em climas temperados, a mistura do ar novo com certa quantidade do ar de retorno pode ser usada para ceder calor/frio ao ar de insuflação.

Recuperadores de calor (Heat recovery) – dispositivos instalados no circuito de ar, funcionando como meios de permuta de energia entre o ar novo e o ar de retorno, antes da rejeição deste para o exterior.

Equipamentos de controlo (Control Systems) – dispositivos necessários para regular as propriedades do caudal de ar: caudal, temperatura, humidade e a própria qualidade de ar, podendo ser um sistema de controlo simples “ON/OFF” ou, até, sistemas complexos de automação (sensores, interruptores, actuadores, motores, etc.).

2.3 CONFIGURAÇÕES DE UTAS

Uma UTA tem por função o tratamento e a distribuição de ar numa ou mais “zonas¹” de um determinado edifício. A unidade insufla (distribui) o ar mediante um caudal especificado, operando nele os tratamentos necessários (filtração, aquecimento/arrefecimento, humidificação/desumidificação) ao conforto térmico e à qualidade do ar nos diferentes espaços, em particular, nos de ocupação humana permanente.

O sistema de condicionamento de ar num edifício pode ser centralizado ou distribuído. Normalmente, um sistema centralizado é instalado numa zona técnica projectada para tal fim e a distribuição assegurada por meio dos sistemas de distribuição (condutas e ventiladores e equipamentos terminais). Num sistema distribuído, o tratamento do ar pode ser assegurado por diferentes unidades com produção térmica independente (frequentemente, sistemas de expansão directa), cada uma associada a uma dada zona do edifício, instalada no exterior ou instalado perto da zona servida.

¹ O termo “zona” refere-se a um determinado espaço onde as condições de conforto e qualidade interior são controlados.

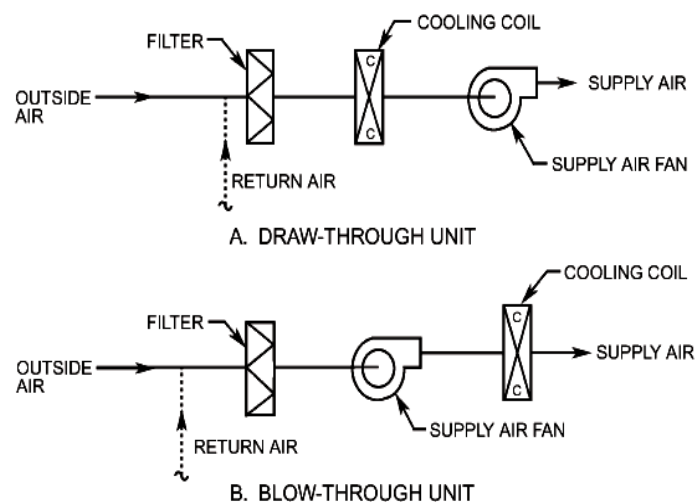


Figura 2-2. Representação esquemática de configurações de UTAs, consoante a localização do ventilador de insuflação. (*Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008*)

Apesar de as unidades de tratamento e distribuição de ar partilharem a mesma configuração básica e um conjunto de componentes, em regra semelhantes, a sua organização e o controlo podem ser diferentes para cada unidade. Em geral, as UTAs são classificadas consoante o número de zonas/espacos por ela servidos, o número de circuitos de insuflação e do tipo de controlo de caudal. De forma específica, os sistemas incluem categorias como:

- Unidade simples ou multizona
- Unidade de uma via ou de via dupla
- Unidade de caudal constante ou unidade de caudal variável.

2.3.1 Unidade simples ou multizonas

Muitos sistemas de tratamento de ar fornecem ar condicionado a uma única zona. Para grandes edifícios, com vários andares e muitas zonas distintas, não é o mais indicado o uso de uma unidade singular por zona, quer em termos estéticos e principalmente em termos da viabilidade económica. Em vez de unidades unizona, cada uma com o seu próprio sistema de controlo, deve ser usada um sistema centralizado destinado a servir as várias zonas, tendo em vista a gestão integrada de consumos. Um dos grandes desafios dos sistemas centrais de tratamento de ar, aquando do projecto, é garantir a satisfação em todo o edifício, mesmo quando ele seja constituído por zonas de cargas térmicas e de perfis de utilização bastante diversos, simultaneamente mantendo a eficiência energética do sistema.

Nos sistemas mais simples, o caudal insuflado é constante. Para satisfazer as variações de carga, pode-se simplesmente ligar ou desligar o ventilador ou, em outra situação, agir sobre a condição de temperatura do ar a insuflar.

Para os sistemas do tipo multizona, é necessário um maior controlo, não só das condições do ar (temperatura e humidade), mas também do caudal de ar a insuflar, pois os diferentes espaços ou zonas podem ter necessidades bastante diferentes. Assim, durante a fase de projecto do sistema central, há que ter em conta tais variações e incorporar controladores de temperatura e, também, do caudal de ar e até da humidade.

2.3.2 Unidade de via simples ou de via dupla

Nos sistemas centralizados mais simples, as UTAs recolhem o ar do exterior e tratam apenas o ar a insuflar, o qual é, então, 100% de ar novo. Nesses casos, a UTA tem apenas uma via, a de insuflação, sendo a unidade de extracção independente e situada em noutro local mais conveniente, por vezes bastante distante daquela. Normalmente, estas unidades não dispõem de sistema de recuperação de energia.

Em grande parte dos sistemas de climatização centralizada dos grandes edifícios, parte do ar de retorno é reciclado, isto é, o ar de insuflação tratado na UTA é uma mistura de ar novo de retorno, extraído dos espaços ventilados. Estas UTAs são de duas vias – a de insuflação e a de retorno, normalmente adjacentes, por vezes sobrepostas, as quais comunicam entre si pela câmara de mistura (do ar novo com o ar de retorno). Nestas UTAs, o caudal de ar exterior captado e, assim, a fracção de ar novo no circuito de insuflação, pode ser variável, consoante o perfil de ocupação do edifício; mais precisamente, dos diferentes espaços do edifício, os quais devem dispor de regulação de caudal individualizada, para acomodar os diferentes requisitos e/ou perfis de utilização. As UTAs de duas vias podem também funcionar a 100% de ar novo, quer por necessidades extremas de ventilação, quer para tirar partido do método do arrefecimento gratuito (*free cooling*), sempre que as condições climatéricas sejam propícias (geralmente, no período nocturno).

Nos sistemas multizona, em cada zona ou espaço, há um caudal primário proveniente da conduta principal de insuflação, e unidades terminais que podem acrescentar ou retirar calor ao ar de insuflação: um tratamento final do ar, a fim de garantir o “setpoint” estipulado, fazendo passar pela respectiva bateria um caudal de ar secundário (recirculado) de valor geralmente superior ao do primário, o necessário para providir as cargas térmicas locais.

Nas figuras 2-3 e 2-4 representam-se esquematicamente UTAs de duas vias (insuflação e retorno), com possibilidade de reaquecimento terminal, no primeiro caso, e de

aquecimento e/ou reaquecimento terminais, no segundo, dependendo das necessidades locais de cada espaço. No caso da Figura 2-4, diz-se que o sistema tem dois fluxos: duas condutas independentes de insuflação, de ar quente e de ar frio, sendo o ajuste de temperatura feito localmente numa caixa de mistura, dotada de registos controlados mediante sensor da temperatura do ambiente local. Porém, esta configuração é pouco comum, sendo uma das desvantagens o espaço adicional ocupando no edifício por uma segunda linha de insuflação.

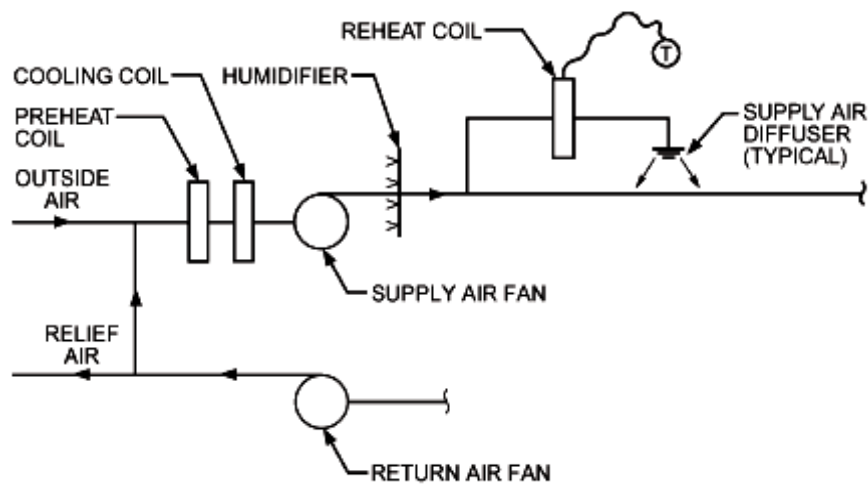


Figura 2-3. Unidade de via dupla, com reaquecimento terminal do ar – Caudal de ar constante. (Adaptado de: *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI)*, 2008)

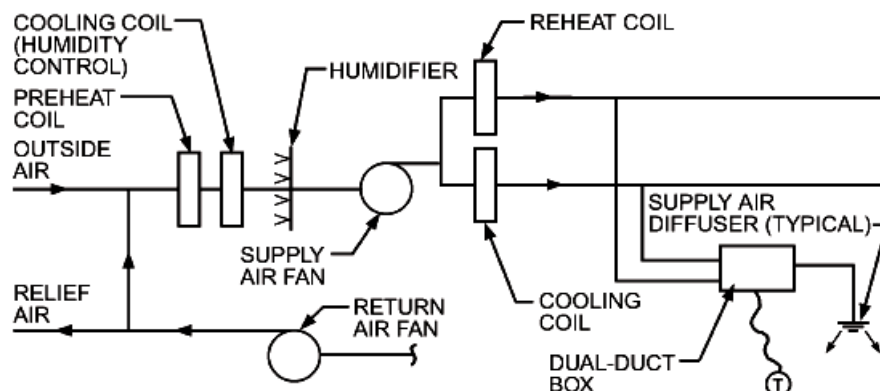


Figura 2-4. Unidade de via dupla e duplo fluxo (ventilador único). (Adaptado de: *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI)*, 2008)

2.3.3 Unidade de caudal de constante vs unidade de caudal variável

Como anteriormente mencionado, de um modo mais geral, e independentemente da configuração, os sistemas que se encontram instalados nos grandes edifícios ainda são de caudal de ar constante (CAC); isto é, o (s) ventilador (es) da UTA é de velocidade constante, sendo o caudal insuflado pelas unidades terminais em cada espaço a climatizar regulado pelo ajuste do respectivo registo. Quer isto dizer que, independentemente das necessidades de ventilação do edifício, a energia consumida nos propulsores é sempre sensivelmente a mesma (o valor nominal), variando apenas as perdas de carga no circuito.

Pelos padrões actuais, de melhoria contínua da eficiência energética, estes sistemas deverão ser convertidos para caudal de ar variável (CAV), com possibilidade de variação da velocidade do ventilador e, portanto, do consumo, consoante as necessidades momentâneas globais do edifício ou da zona servida pela UTA. As unidades de caudal de ar variável são constituídas por sistemas de modelação de caudal, que funcionam através do controlo da velocidade de rotação do motor que acciona o ventilador, seja por meio de variadores de frequência, seja por moto-ventiladores de comutação electrónica.

As unidades de CAV dão respostas às variações de cargas pela modelação de caudal de ar (aumentando ou diminuindo) em vez do simples controlo de temperatura de ar, pois, há que garantir a qualidade de ar interior. O seu funcionamento baseia-se na manutenção constante da pressão em algum ponto da conduta principal de alimentação de ar. Isto porque, quando o registo da unidade terminal fecha ou abre, a pressão na conduta de insuflação (a montante) aumenta ou decresce, respectivamente. É possível modular a velocidade do ventilador a fim de manter o “setpoint” da pressão. E, a variação do caudal de ar é conseguida, ajustando os registos de entrada do ar exterior, da saída do ventilador ou a velocidade de rotação do motor.

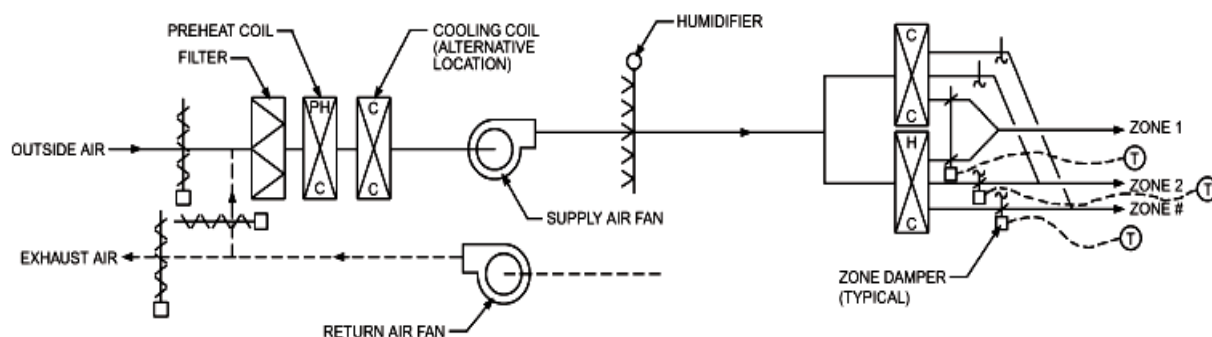


Figura 2-5. Unidade de ar multizonas – Caudal de ar variável. (Adaptado de: ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment (SI), 2008)

Uma redução ou eliminação de necessidade do reaquecimento resulta numa redução significativa dos consumos em sistemas de CAV em relação aos sistemas de CC, na totalidade de um edifício. Os sistemas de CAV tendem a ser mais caros e de operação mais difícil, assim como mais difíceis de manter. (*Kreider, Jan F. 2001*)

É importante referir que a boa qualidade e o êxito de qualquer projecto de sistemas de climatização não depende unicamente do bom e rigoroso cumprimento dos requisitos e normas, mas sim, muitas das vezes, de considerações de natureza simples e relativas ao funcionamento e às utilizações futuras.

Um sistema projectado de modo adequado leva em conta as cargas térmicas e as condições fora de projecto. Isso requer, além dos cálculos das cargas máximas de cada zona, uma compreensão dos diversos componentes e a flexibilidade que o projecto oferece para atender a condições “off-design”. São conhecidos vários métodos de cálculo aproximado, não abordados neste trabalho, que possibilitam o dimensionamento das cargas térmicas dos espaços ocupados². Além das cargas térmicas de cada zona, existem factores que influenciam os sistemas de um modo diferente:

- Calor fornecido pelo ventilador e os sistemas de transferência de calor
- Fugas nas condutas e nos demais componentes da unidade de tratamento e distribuição de ar.

² Mais Indicações em: Kreider, Jean F – Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning, *Design Requirements for HVAC Systems*.

2.4 CERTIFICAÇÃO DE UTAS – NORMAS EUROPEIAS

Qualquer projecto executado à luz dos regulamentos e exigências de engenharia, só entra em fase de utilização com a garantia do cumprimento dos requisitos preestabelecidos, definidos pelos regulamentos regionais, nacionais e internacionais, se forem cumpridos todos os procedimentos de ensaio que comprovam o desempenho dos seus componentes e demonstram que o funcionamento global da instalação corresponde ao estipulado no projecto. A não realização adequada de ensaios poderá trazer consequências graves para o desempenho energético e funcional da instalação. Por exemplo, levando a um consumo excessivo de energia para obter o mesmo efeito, o que levará a que os custos operacionais sejam superiores aos do projecto e, em casos mais graves, pôr em risco vida de quem no seu dia-a-dia entra directamente ou indirectamente em contacto com a instalação.

Compreende-se que seja muito importante para o dono da obra e posteriormente para utilizador que, antes da recepção, haja a garantia que se procedeu aos ensaios básicos, recorrendo a meios próprios ou, na sua ausência, a um organismo qualificado e independente para proceder à verificação.

O principal objectivo desta secção reside precisamente na descrição sintética da instalação e dos procedimentos de ensaio de certificação de UTAs em sistemas de climatização, tomando como base as normas europeias que definem as especificações e procedimentos de teste e avaliação de UTAs.

2.4.1 Requisitos de Ensaio

As prestações mecânicas e outras avaliações sobre o desempenho da UTA, apresentadas pelos fabricantes, devem ser verificadas através de testes realizados em laboratórios independentes e segundo as normas e os requisitos mínimos impostos. O ensaio e a certificação de uma UTA, exige o cumprimento de uma serie de normas que regem o funcionamento e desempenho das mesmas e, ainda, uma série de outras normas e indicações que abarcam os diferentes componentes da UTA.

Nesta dissertação serão tomadas como referência as seguintes normas, fundamentais e mais utilizadas no ensaio de certificação UTAs.

EN 13053 – Ventilation for buildings – Air handling units - Ratings and performance for units, components and sections.

EN 1886 – Ventilation for buildings – Air handling units – Mechanical performance.

Além das duas normas base de ensaios e certificação, existem referências que são indispensáveis para preparação e execução da análise e avaliação do desempenho de UTAs. Como referência, são usadas as últimas edições dos referidos documentos. (ver Anexo A).

2.4.2 Termos e definições

Para efeitos deste trabalho, os termos e definições referidas no texto constam das normas EN 12792:2003, EN 13053:2001, recorrendo-se às que a seguir se transcrevem:

Unidade de Tratamento de Ar (*Air Handling Unit*) – montagem que consiste num ventilador ou ventiladores e outros componentes para realizar uma ou mais das seguintes funções: circulação, aquecimento, mistura de ar, entre outras.

Gama de Produto (*Product range*) – família de produtos de diferentes tamanhos agrupados sob a mesma denominação e utilizando o mesmo processo de selecção.

Deflexão (*Deflection*) – deformação em mm da superfície externa da unidade, quando submetida a uma relação positiva ou negativa da pressão. É dada como a medida da diferença da distância entre um plano de referência e o ponto de deformação máxima, quando sujeito a pressão de ar.

Fugas no bypass dos filtros (*Filter bypass leakage*) – fuga à volta das células de filtros

Transmissão térmica (*Thermal transmittance*) – fluxo de calor por unidade de área e variação de temperatura registados através da unidade.

Factor de pontes térmicas (*Thermal bridging factor*) – rácio entre a mais baixa diferença de temperatura registada à superfície da unidade e a temperatura média do ar, e a diferença de temperatura média ar – ar.

Potência sonora do ar (*Airborne sound power*) – potência sonora irradiada pela estrutura da UTA.

2.4.3 Área de aplicação

As normas específicas para ensaios de certificação de UTAs definem os requisitos e as condições de ensaios, tanto para a insuflação como para a extracção de ar em espaços ou em todo o edifício. Entretanto, não se aplicam a seguintes casos:

- Unidade de ar condicionado aplicado a uma única área restrita de um edifício, como é o caso da ventilação localizada.
- Equipamentos ou unidades para edifícios destinadas a moradias.
- Unidades de ventilação destinadas unicamente a processos industriais.

2.5 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UTAs

2.5.1 Critério de análise do desempenho de uma UTA

Para ensaio de certificação de uma unidade de tratamento de ar, podem ser usados um modelo da unidade, “M”, ou a própria unidade à escala real, “R”, sendo os critérios de classificação dependentes do tipo da unidade em ensaio, conforme descrito na tabela seguinte:

Tabela 1. Critérios de teste e classificação de UTAs. (Adaptado de: EN 1886)

Critérios de teste	Tipo da Unidade	
	Unidade Modelo “M”	Unidade Real “R”
Resistência mecânica	Classificação geral da construção	Classificação particular ou avaliação individual
Perdas do ar	Classificação geral da construção	Classificação particular ou avaliação individual
Perdas nos filtros	Classificação geral da construção	Classificação particular ou avaliação individual
Coeficiente de transmissão térmica	Classificação geral da construção	-----
Isolamento acústico	Classificação geral da construção	-----
Pontes Térmicas	Classificação geral da construção	-----

Nota: Durante o ensaio há que diferenciar o tipo da unidade a usar, para uma clara distinção.

A – Resistência mecânica

As unidades são divididas em classes, de acordo com as indicações da EN 1886, transcrita em forma da tabela, que a seguir se apresenta.

Tabela 2. Classes de classificação de resistência mecânica de UTAs. (*Adaptado de: EN 1886*)

Classe da Unidade	Desvio relativo máximo $mm \times m^{-1}$
D1	4
D2	10
D3	Superior a 10

A norma também define valores referência para ensaios de pressão (ver tabela 3). Para aprovação da unidade ou pelo menos da estrutura desta, as três classes apresentadas na tabela 2 têm de suportar a pressão máxima de funcionamento do ventilador à velocidade de projecto, sem que haja registo de qualquer deformação estrutural seja ela no painel ou na moldura de deflexão.

Tabela 3. Valores de referência para ensaios de pressão. (*Adaptado de: EN 1886*)

Critério de teste	Tipo de estrutura	
	Modelo “M”	Real “R”
Desvio/Deflexão	$\pm 1000 \text{ Pa}$	Funcionando á velocidade de projecto do ventilador
Pressão máxima do ventilador	$\pm 2500 \text{ Pa}$	Funcionando á velocidade máxima do ventilador

B – Fugas de ar na estrutura

Após o ensaio de resistência, segue-se o teste de fuga. As unidades são testadas nas mesmas condições de funcionamento, isto é, se a unidade opera a pressão negativa, o conjunto deve ser ensaiado a pressão a pressão de 400 Pa negativa e, as taxas de fugas aceitáveis para esta condição de ensaio são descritas pela tabela 4.

Tabela 4. Classe de fugas de unidades testadas a 400 Pa. (Adaptado de: EN 1886)

Classe de Fuga	Taxa de fuga máxima (f_{400}) $l \times m^{-2} \times s^{-1}$	Classe de filtro (EN 779)
L1	0,15	Superior a F9
L2	0,44	F8 a F9
L3	1,32	G1 a F7

E, se a unidade opera a pressão positiva, deve ser testada à máxima pressão entre a pressão de funcionamento e a pressão positiva de 700 Pa. Nestas condições, a norma EN 1886 indica que as taxas de fugas aceitáveis terão de estar em conformidade com a tabela seguinte.

Tabela 5. Taxas de fugas de unidades testadas a 700 Pa. (Adaptado de: EN 1886)

Classe de Taxa	Taxa máxima de fuga $l \times m^{-2} \times s^{-1}$
L1	0,22
L2	0,63
L3	1,90

Haverá casos em que a unidade opera tanto a pressão negativa como a pressão positiva. Nestas condições, as secções que operam sob pressão positiva devem, em todos os casos, ser testadas separadamente das restantes. Se a pressão de operação não exceder 250 Pa, o teste a pressão negativa é suficiente para definir a classe de fuga da unidade.

Observação: no caso de os valores medidos se desviarem dos valores de referência, para as condições de pressão 400 Pa e 700 Pa, respectivamente, é possível converter os resultados para valores de referência, com base nas seguintes relações:

$$f_{400} = f_m \times \left(\frac{400}{\text{pressão de ensaio}} \right)^{0,65} \quad (1)$$

$$f_{700} = f_m \times \left(\frac{700}{\text{pressão de ensaio}} \right)^{0,65} \quad (2)$$

Onde:

f_{400} e f_{700} – Representam os valores de fuga à pressão de referência (ver as tabelas 4 e 5)

f_m – Taxa de fuga á pressão de ensaio

C – Perdas de ar no filtro

A circulação do ar em torno das células de filtro irá diminuir a eficiência de filtração, principalmente nos filtros de alta eficiência, porque esta será uma parte de ar não filtrada e portanto, não contabilizada no caudal volúmico de ar que atravessa a secção de filtro.

Para cada caudal volúmico de ar especificado, é possível contabilizar a taxa de fuga nos filtros (q_{va}) com base na equação seguinte:

$$q_{va} = k \times \left(q_{nom} / 100 \right) \quad (3)$$

Onde:

q_{nom} – Caudal volúmico de ar que atravessa a secção do filtro (ver tabela 6).

k – Taxa de fuga no filtro, em percentagem do caudal volúmico de ar que atravessa a secção do filtro (ver tabela7)

Nota: caso a unidade tenha mais do que um filtro as taxas de fugas devem ser determinadas em ensaios independentes.

Tabela 6. Caudal volúmico de ar (q_{vnom}) na secção do filtro. (Adaptado de: EN 1886)

Critério de teste	Tipo da Unidade	
	Modelo “M”	Real “R”
Caudal volúmico [m ³ /h]	Correspondente a uma velocidade de 2,5 m/s na face do filtro (por exemplo, 0,93 m ³ /s em 610mm×619mm)	Funcionamento normal à velocidade de projecto do ventilador

Tabela 7. Valores admissíveis de taxas de fugas no filtro ensaiados a 400 Pa. (Adaptado de: EN 1886)

Classe dos filtros	G1 a F5	F6	F7	F8	F9
Taxa máxima de fuga no filtro em percentagem do caudal volúmico de ar, k [%]	6	4	2	1	0,5

D – Desempenho térmico

A norma EN 1886 fornece meios para classificação do coeficiente de transmissão térmica e, também, permite medir as pontes térmicas associadas ao projecto estrutural de uma UTA.

D1 – Coeficiente de transmissão térmica

O coeficiente de transmissão térmica, U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), deve ser determinado quando no estado estacionário a diferença de temperatura atingir 20K. Fora desta condição, a classificação deve ser determinada de acordo com a tabela 8.

$$U = \frac{P_{el}}{A \times \Delta t_{ar}} \quad (3)$$

Onde:

P_{el} – Potência eléctrica de aquecimento e alimentação do ventilador

A – área da unidade a ensaiar

$\Delta t_{ar} = (t_i - t_{ar})$, com t_i e t_{ar} – temperaturas médias do ar interior e exterior, respectivamente.

Tabela 8. Classificação do coeficiente de transmissão térmica de UTAs. (Adaptado de: EN 1886)

Classes	Coeficiente de transmissão térmica U W/m ² K
T1	$U < 0,5$
T2	$0,5 < U < 1,0$
T3	$1,0 < U < 1,4$
T4	$1,4 < U < 2,0$
T5	Sem requisitos

D2 – Pontes térmicas

Determinadas nas mesmas condições que o coeficiente de transmissão térmica, dadas pela relação entre a mais baixa temperatura média do ar (Δt_{\min}) e a diferença de temperatura do ar (Δt_{ar}).

$$k_b = \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_{ar}} \quad (8)$$

Onde:

$\Delta t_{\min} = t_i - t_{máx}$, Com t_i a temperatura média do ar interior e $t_{máx}$ a máxima temperatura registada na superfície exterior.

$\Delta t_{ar} = (t_i - t_{ar}) - t_i$ e t_{ar} – temperaturas média do ar interior e exterior, respectivamente.

Tabela 9. Classificação das pontes térmicas de UTAs. (Adaptado de: EN 1886)

Classe	Factor pontes térmicas, K_b
TB1	$0,75 < K_b < 1,00$
TB2	$0,60 < K_b < 0,75$
TB3	$0,45 < K_b < 0,60$
TB4	$0,30 < K_b < 0,45$
TB5	Sem requisitos

2.5.2 Avaliação do desempenho de UTAs

O desempenho de uma unidade de tratamento de ar não se define como a soma das eficiências das diferentes secções e componentes, pelo que, é necessária uma análise rigorosa de todos os componentes e de forma independente sempre que possível.

O método usado para avaliar o desempenho de UTAs cobre as medições de caudal volúmico de ar em conjunto com a pressão total e a potência consumida pela unidade. E, também, quando escolhido de forma apropriada, pode-se determinar, além das características da unidade, o nível sonoro difundido na UTA e transmitido às condutas, conhecendo o caudal de ar que circula na respectiva unidade.

A norma EN 13053 define as características e as quantidades a serem medidas e avaliadas, considerando uma massa volúmica de ar normal de $1,2 \text{ kg/m}^3$ e apresentadas nas condições nominais de velocidade do ventilador ao longo do ensaio, usadas depois para avaliar desempenho aerodinâmico e proceder à avaliação acústica de UTAs.

2.6 NOTAS CONCLUSIVAS

O conjunto que engloba os componentes e funções de ventilação mecânica e, também, condicionamento do ar constitui uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA).

Uma UTA inclui uma gama de componentes que asseguram o tratamento e a distribuição de ar e o seu bom funcionamento. Os sistemas de ar são projectados para satisfazer as necessidades de condicionamento dos espaços, isto segundo as condições de temperatura e humidade absoluta do ar a insuflar.

Os acessórios (ventilador, filtros, baterias de aquecimento/arrefecimento, humidificadores, desumidificadores), em regra, constituem a “alma” da UTA, mas a organização e o controlo podem ser feitos de maneiras diferentes para cada unidade. Dependendo da estrutura, localização e características do condicionamento as unidades de ar catalogam-se em: *unidade unizona ou multizonas; unidade de caudal constante ou unidade de caudal variável; unidade de via simples ou unidade de via duplo*. Por convenção, a unidade de caudal variável diferencia-se da unidade multizona, embora exista tal demarcação ambos os sistemas são de percurso simples e serviço multizonas.

Os requisitos mecânicos e outros desempenhos de UTAs devem ser verificados com ensaios realizados em laboratórios independentes, a fim de garantir o cumprimento das normas e directivas em que esta se insere.

O capítulo que aqui se conclui faz uso de um conjunto importante de publicações e normas (EN 1886:2007 e EN 13053:2001) para definir, caracterizar o funcionamento e definir os requisitos de ensaios para a certificação de unidades de tratamento de ar em sistemas de climatização.

CAP. III. PROJECTO DE UM LABORATÓRIO DE ENSAIOS DE UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR – ESTUDO PRÉVIO

Esta secção tem por objectivo descrever os procedimentos que garantem o bom funcionamento de uma instalação de um laboratório de ensaios, apresentando as condições e especificando os equipamentos de medições e ensaios, as respectivas tolerâncias e precisões nas medições. Consideram-se também as montagens de equipamentos e acessórios para a execução de ensaio segundo as normas EN 13053 e EN 1886, que definem os critérios de funcionamento e desempenho de Unidades de Tratamento de Ar.

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os ensaios garantem a qualidade e a adequação de equipamentos e instalação às normas de referência. A ratificação e a certificação de equipamentos e instalações das mais variadas tipologias são práticas adoptadas a nível mundial como forma, não só, de garantir a qualidades destes equipamentos e instalações mas, também a sua adequação às normas, padrões e especificações predefinidas.

Quando se conclui um projecto de construção de uma instalação de tratamento e distribuição de ar, é necessário proceder aos ensaios que comprovem qual o desempenho da unidade como um todo e se, cada um dos seus componentes correspondem ao estipulado no projecto. A não realização dos devidos ensaios de recepção poderá trazer consequências onerosas para o desempenho energético e funcional da instalação, como é o caso de um consumo excessivo de energia para obter o mesmo efeito, conduzindo a custos de operações superiores aos previstos no projecto.

No caso de UTAs os requisitos mecânicos e outras informações sobre o seu desempenho, apresentados pelos fabricantes devem ser verificados através de testes realizados por laboratórios independentes e segundo as normas e os requisitos de ensaios e certificação.

3.2 ENSAIOS DE CERTIFICAÇÃO

O programa de certificação que se pretende desenvolver, aplicar-se-á uma gama seleccionada da capacidade de fluxo de unidades de tratamento de ar que se pretende ensaiar. Isto tendo em conta o mercado de produção português, alvo de análise para o desenvolvimento desta dissertação. Em cada intervalo de selecção, a quando dos ensaios de ratificação, as várias características da unidade serão aferida de modo independente, segundo os critérios:

É construída uma caixa modelo da unidade, com base nas especificações catalogadas pelos fabricantes, para avaliar as características mecânicas e estruturais, em concordância com a norma EN 1886.

Para teste de aferição do desempenho da unidade, em conformidade com a EN 13053, é seleccionada, no intervalo de preferências, uma para o acto de ensaio. Nesta situação é escolhida apenas unidades cujo caudal nominal esteja abaixo do caudal volúmico máximo admitido pela instalação de ensaios.

Observação: Se, usando os mesmos critérios de selecção, existirem numa mesma gama de unidades dois ou mais tipos de construção estrutural, todas as unidades modelos devem ser testados de modo independente para determinar as características mecânicas e estruturais e, seleccionados apenas um para o respectivo teste de desempenho. Assim sendo, a certificação é atribuída, se os resultados dos testes mostrarem conformidades com as indicações catalogadas pelos fabricantes e as indicações standards.

3.2.1 Resistência Mecânica da estrutura

As medições devem ser efectuadas de acordo com os requisitos definidos na secção 2.7 do presente relatório, com uma precisão de $\pm 5mm$, enquanto a unidade estiver a operar nas condições de ensaios pré-definidos pela norma base.

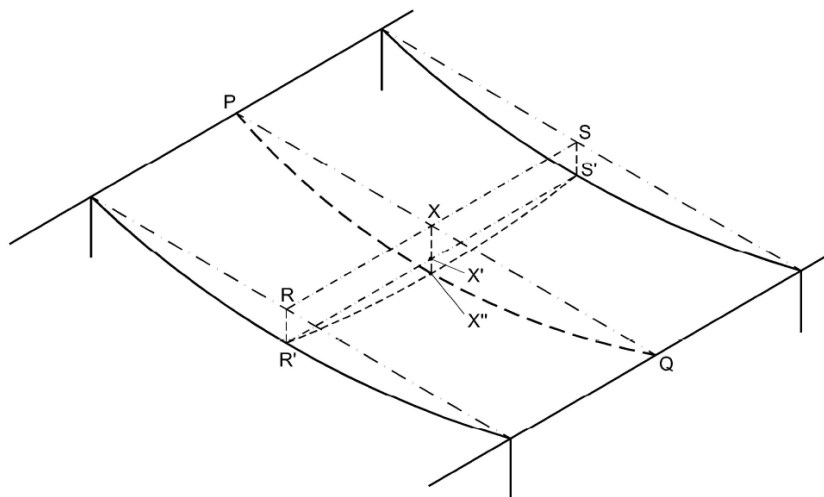


Figura 3-1. Deflexão de painéis e da estrutura de UTAs (Adaptado de: EN 1886:2007)

Nota: A deflexão $X'X''$ é uma função da rigidez do painel.

A deflexão XX'' é função tanto de rigidez da estrutura como dos painéis.

3.2.2 Fugas de ar na estrutura

A montagem deve ser conforme mostrada na figura 3-2, usando um ventilador capaz de garantir a taxa de fuga prevista à pressão de ensaio. Em caso da UTA ser grande relativamente à zona de ensaio ou, por qualquer motivo tenha necessidades de se ensaiada em secções, a divisão deverá ser discutida entre o fabricante e o comprador, antes do ensaio.

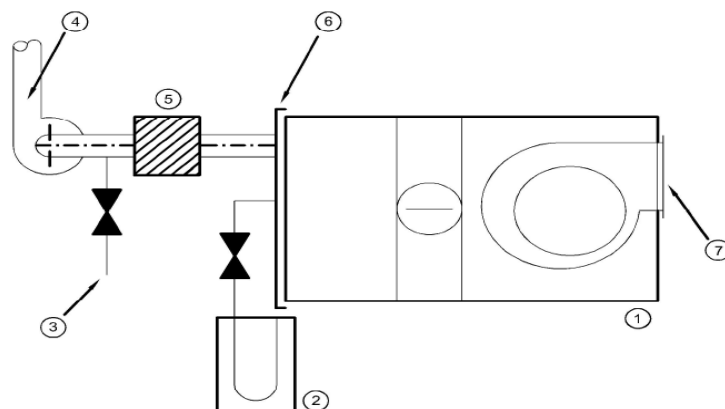


Figura 3 - 2. Montagem de uma UTA para ensaio de fugas. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Unidade Tratamento de Ar
- 2 Manómetro de ensaio
- 3 Válvula de drenagem (usado como alternativa a variador de velocidade do ventilador)
- 4 Ventilador (velocidade variável)
- 5 Equipamento de medida de caudal volúmico do ar
- 6 Secção de entrada da UTA
- 7 Secção de saída da UTA

3.2.2.1 Procedimento de ensaio

O ensaio deverá decorrer com a unidade no mesmo plano em que é previsto funcionar e, segundo as indicações de instalação. Seguindo os passos:

Primeiro: Ligar o ventilador da unidade teste e, ajustar a pressão a um desvio máximo de 5% do valor especificado (ver tabela 3).

Segundo: Manter a pressão durante cinco minutos, sem registar quaisquer dados, até estabilizar.

Terceiro: Com a pressão estabilizada iniciar o processo de medição e registo de fugas.

3.2.2.2 Taxas de fuga admissíveis

As taxas de fuga obtidas não devem ter desvios superiores a 5% do valor base, pelo que terão de ser convertidos para valores de referência à pressão de ensaio (ver tabelas 4 e 5; equações 1 e 2).

Observação: a unidade é aceitável se a taxa de fuga não ultrapassar valores de referências. Se a unidade for ensaiada em secções, a soma total das taxas e fugas das diferentes secções, servir-se-ão de base para aprovação ou reprovação da unidade.

3.2.3 Perdas no filtro

As especificações são referidas à unidade completa.

Observação: Nesta secção serão descritos os passos para um ensaio genérico. Para casos particulares, como são unidades com filtros a montante ou a jusante do ventilador, e, ou ainda unidades com recuperadores de calor, estes vêm destacados em anexo (ver Anexo B).

3.2.3.1 Passos de ensaio

Os filtros devem ser removidos e substituídos por placas de obturações, conforme mostrada na figura 3-3. Estas placas terão as mesmas características dos filtros: dimensões, forma e qualidade superficial. E, no ensaio, o dispositivo de medição tem de ter uma tolerância de medição de $\pm 3\%$.

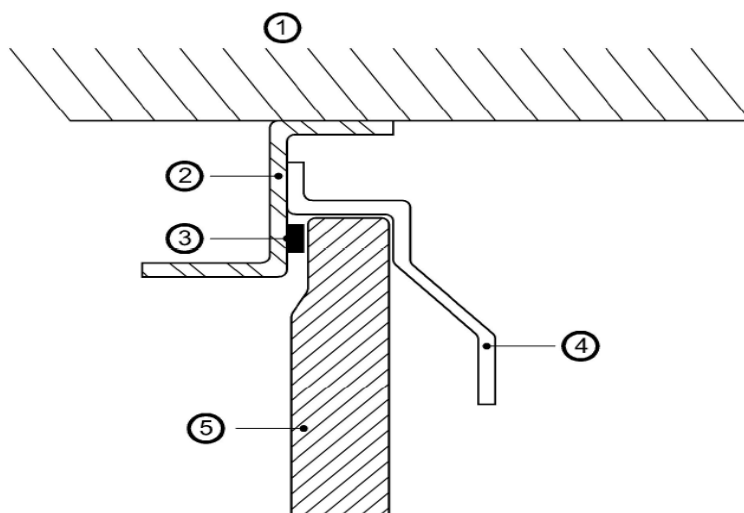


Figura 3 - 3. Método da supressão de células de filtros. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Revestimento da parede
- 2 Moldura da unidade
- 3 Vedação da placa que substitui o filtro
- 4 Fixador da célula do filtro
- 5 Placa de obturação

3.2.4 Avaliação do desempenho térmico

O principal requisito para classificação do coeficiente de transmissão térmica, U ($W \times m^{-2} \times K^{-1}$) de UTAs é que as condições de ensaio reproduzam, o mais aproximado possível, o *design* e a qualidade de construção típica da gama representativa do produto.

De entre outras indicações, destacam-se:

- Projectos diferentes não devem ser ensaiados mediante as mesmas condições.
- O modelo usado para ensaio tem de estar em conformidade com a unidade real.
- Na preparação dos espaços de ensaio deverá ter em conta:
 - A altura e a largura devem estar compreendida entre os 0,9m e 1,4m.
 - A área total deveser estar no intervalo de 10m² a 30m²
- O lado operacional de cada secção deve ter pelo menos uma porta de acesso, com dobradiças e fecho padrão e, deve incluir pelo menos um painel fixo.
- A estrutura do filtro deve ser instalada, sem meio filtrante, a quando das medições, permitindo a quantificação do caudal de derivação no filtro.

Observação: Se, utilizado uma UTA real, os acessórios internos, como filtros e as serpentinas devem ser removidos, excepto o suporte do filtro. O conjunto deve ser apoiado por blocos isolantes, com estrutura base de 300mm a 400mm acima do piso da sala, sem correntes de ar (velocidade de caudal inferior a 0,1m/s).

O recinto deve ser dividido, longitudinalmente, em três secções iguais de ensaios. E, instalado dezasseis equipamentos de medição no interior, uma em cada face e nos cantos de cada divisão de secção a 100mm dos painéis laterais. No interior do espaço, devem ser montados um ou mais elementos de aquecimento eléctrico, controlada no exterior. E, um ou mais ventiladores que garantem a circulação de ar livre, em volume equivalente a 100-110 renovações horárias e a homogeneidade da temperatura (diferença de temperatura nunca inferior a 20K) em todos os pontos de medição.

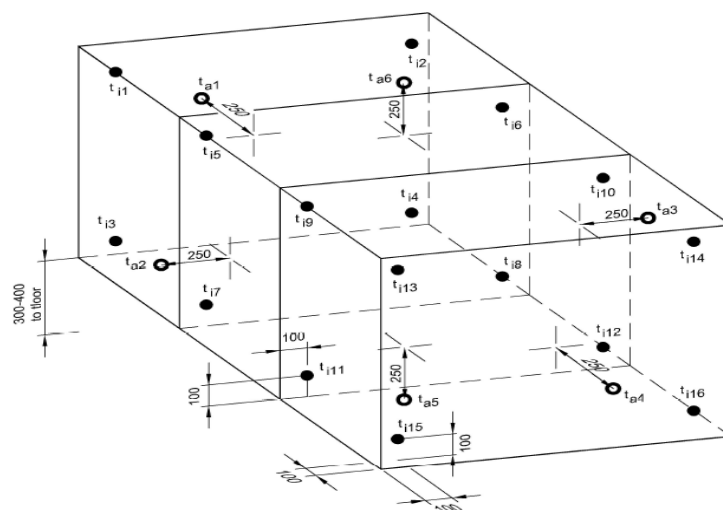


Figura 3 - 4. Zonamento e instalação de equipamentos de medição, dimensões em milímetro. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Todos os dispositivos de medições de temperatura (interior e exterior) do ar devem ser protegidas da radiação térmica e, devem ter uma precisão de $\pm 0,1K$. Enquanto, que o equipamento de medição da temperatura superficial deve ter uma precisão de $\pm 0,2K$. A temperatura do ar externo deve ser medida em pontos a 0,25m do centro da parte inferior, superior e todos os quatro lados verticais do recinto.

3.2.4.1 Procedimento de ensaio

Ligar o sistema de aquecimento e o ventilador mantendo a tensão constante até alcançar um estado de equilíbrio de temperaturas médias internas e externas. Ambas as medições (temperaturas médias internas e externas) devem ter um desvio padrão inferior a 1,0K durante trinta minutos.

Durante a medição da diferença de temperatura entre os pontos de registos interiores não deve ultrapassar 2,0K. A diferença entre as três medições da temperatura média das zonas interiores e a diferença entre a temperatura exterior nos pontos de medição não devem avultar os 0,5K.

3.2.5 Avaliação dos resultados de ensaio

Para calcular o coeficiente de transmissão de calor e o factor das pontes térmicas, U e k_b respectivamente, devem ser usados as seguintes condições, e os respectivos resultados finais devem ser apresentados com dois dígitos significativos.

Tabela 10. Avaliação dos resultados

Parâmetro	Unidades, SI	Dígitos significativos
P_{el}	[W]	Um dígito
A	[m ²]	Dois dígitos
Δt_{min}	[K]	Um dígito
Δt_{ar}	[K]	Um dígito
t_i e t_e	[°C]	Um dígito

3.2.6 Isolamento acústico da unidade

A análise do isolamento acústico visa obter o nível de pressão sonora da fonte, por bandas de oitava na gama 125Hz a 8000Hz, em torno da unidade modelo em ensaio. As condições de ensaios são especificadas pelas normas PT ISO 3744 ou EN 3743. Por fim, determinar o nível médio logarítmico da pressão sonora.

Para cada nível de pressão sonora, a correcção do nível de ruído respectiva é dada pelas relações:

$$\bar{L}_p^{Ei} = 10 \cdot \log \left[10^{\left(\frac{\bar{L}_p^{Ei}}{10} \right)} - 10^{\left(\frac{\bar{L}_p^{bg}}{10} \right)} \right] \quad (9)$$

Onde

\bar{L}_p^{Ei} – Nível de pressão sonora da posição corrigida

\bar{L}_p^{bg} – Nível médio de ruído de fundo

É também possível determinar o nível médio de pressão sonora da fonte, a partir de duas medições, uma para cada banda de oitava.

$$\bar{L}_p^E = \frac{1}{2} \cdot \left(\bar{L}_p^{E1} + \bar{L}_p^{E2} \right) \quad (10)$$

Onde

\bar{L}_p^E – Nível médio de pressão sonora no compartimento que contém a fonte sonora

Nota: para completar o processo de medição, instalar uma fonte sonora no centro da unidade e, medir o nível médio da pressão sonora, como descrito anteriormente. Aplicar a correcção ao ruído de fundo por fim, determinar o valor da perda por inserção do som para cada banda de oitava e, como resultado final, apresentar os valores de D_p em forma de tabela.

$$D_p = \bar{L}_p^S - \bar{L}_p^E \quad (11)$$

Onde

\bar{L}_p^S – Nível médio de pressão sonora da fonte.

3.2.7 Desempenho aerodinâmico

O ensaio deve ser feito em concordância com as indicações da ISO 5801:1997. De entre os vários tipos de instalações recomendadas pela norma, há que fazer os arranjos que permitem uma melhor e mais fácil ensaio, das quais destacam:

- *Instalações tipo B* – secção de entrada da unidade livre e tubeira na secção de saída.
- *Instalação tipo C* – tubeira na secção de entrada e a secção de saída livre.
- *Instalação tipo D* – consiste na instalação de tubeira das secções de entrada e saída da unidade.

3.2.7.1 Preparação da câmara de ensaio

Essas indicações vêm especificadas na secção 30 da norma ISO 5801.

Procedimento de ensaio – Método da tubeira

As partes comuns dos sistemas de tubeiras, em instalações de tipos B, C e D têm de estar em concordância com as indicações da secção 29 da ISO 5801. As instalações do tipo B ou D devem ter a dimensão da secção transversal de saída da unidade e, as instalações tipo C ou D a dimensão da secção da entrada da unidade.

Aquando do ensaio, o registo que controla o caudal de ar deve estar completamente aberto e os componentes instalados de forma devida (como os filtros limpos e as serpentinas secas).

3.2.7.2 Medições

As condições atmosféricas, de pressão e temperatura, devem ser avaliadas no início do ensaio. Quaisquer observações necessárias ao longo do ensaio devem ser devidamente registadas e especificadas no relatório final.

Nota: A norma ISO 5801:1997 indica que a medição de pressão no local de ensaio deve ser feita em número de pontos suficientes para gerar uma curva dos pontos de funcionamento especificado da unidade.

3.2.8 Avaliação acústica de UTA

Na avaliação acústica de UTAs, são considerados as seguintes parcelas de ruídos:

Ruídos nas condutas – avaliadas em conformidade com as normas EN ISO 2536 ou EN ISO 3741.

Ruído difundido na unidade – Informações de ensaios e de avaliação encontram-se descritos em EN ISO 9614 ou EN ISO 3744.

Nota: em caso de unidade com secção de entrada ou saída livre, o nível de ruído equivalente da unidade inclui a parcela emitida na entrada e à saída.

3.2.8.1 Condutas

Estas devem ter as dimensões correspondentes às tomadas ou aberturas de admissão de modo a manter constante a secção e, o comprimento de pelo menos três diâmetro efectivo, mas nunca inferior a 2,60m.

3.2.8.2 Condições de caudal do ar

Para medições dentro de uma sala é aconselhável que a razão entre o caudal de ar (m^3/s) e o volume do espaço (m^3) não exceda $1/60$.

3.2.8.3 Passos de ensaio

A potência sonora emitida por uma unidade deve ser avaliada seguindo as montagens a seguir apresentadas.

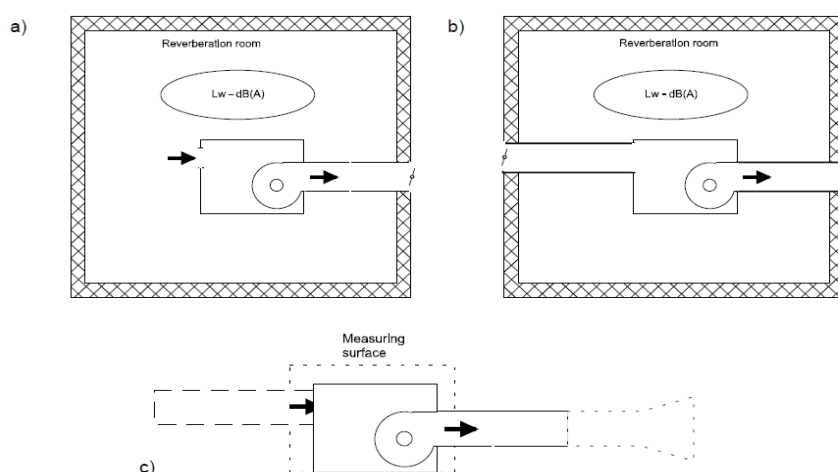


Figura 3 - 5. Montagens para ensaios acústicos de UTAs. (Adaptado de: EN 13053:2001)

As figuras 3-5.a) e b) representam a montagem usada para efeito de medição do ruído, para a quantificação da potência sonora emitida por uma unidade, usando uma câmara de reverberação. Estes ensaios devem ser executados de acordo com as indicações da norma EN ISO 3741.

A figura 3-5.c) representa a montagem a usar na medição do ruído, pelo método do campo livre. Essas medições a serem executadas de acordo com as normas EN ISO 3744 (para classe de precisão 2) e de acordo com a EN ISO 3746 (para a classe de precisão 3) ou EN ISO 9614

Observação: A medição do nível de ruído em condutas é feita para garantir que os ruídos produzidos nas condutas são insignificantes face às medições do ruído aéreo na unidade. E no que toca ao ruído transmitido pela unidade às condutas, as devidas avaliações devem ser feitas recorrendo às seguintes ilustrações.

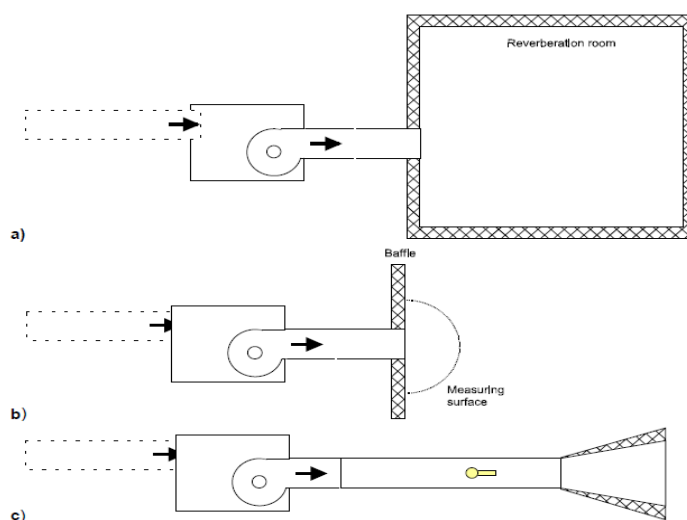


Figura 3 - 6. Montagem para medição de ruído transmitido às condutas, pela unidade.
(Adaptado de: EN 13053:2001)

A figura 3-6.a) representa a montagem usada para efeito de medição do ruído, para a quantificação da potência sonora emitida por uma unidade, usando uma câmara de reverberação. Estes ensaios devem ser executados de acordo com as indicações da norma EN ISO 3741.

A figura 3-6.b) representa a montagem a usar na medição do ruído, pelo método do campo livre. Essas medições a serem executadas de acordo com as normas EN ISO 3744 ou EN ISO 9614

A figura 3-5.c) representa a montagem a usar na medição do ruído, usando uma terminal anecóico. Os ensaios de medição devem ser feitos em concordância com a EN 25136.

Nota: O fenómeno da reflexão ocorre sempre que o ruído é transmitido através de secções com mudança brusca de geometria, como é o exemplo de uma conduta em uma sala ou um espaço livre. E a correcção na extremidade da conduta deve ser feita ao nível da potência sonora medida (ver Anexo C).

3.2.9 Tolerâncias

O desempenho especificado, de uma unidade, deve ser o mais provável e não o máximo nem o mínimo dos valores aceitáveis. A secção 16.7 da norma ISO 5801 define que o desvio admissível do ponto de funcionamento, especificado a partir do ponto característico da UTA é a soma dos intervalos de tolerância dos pontos discriminados e no intervalo de incerteza.

A tabela seguinte contém indicações sobre as tolerâncias a considerar em avaliação do desempenho de UTAs.

Tabela 11. Tolerâncias aplicáveis no ensaio de avaliação de desempenho de UTAs.
(Adaptado de: EN 13053:2001)

Valores de trabalho	Intervalo de tolerância t	Observações
Caudal volumico q_v m^3/s	+/- 5%	$\Delta q_v = (t_{q_v} / 100\%) \cdot q_v$
Diferença de pressão externa total Δp , Pa	+/- 5%	$\Delta(\Delta p_t) = (t_{\Delta p} / 100\%) \cdot \Delta p_t$
Potência do motor P_E , W	+ 10%	$\Delta P_E = (t_P / 100\%) \cdot P_E$ Desvios negativos são permitidos
Nível de potência sonora L_{WA} , dB	+ 3 dB	$\Delta L_{WA} = t_{LWA}$ O valor de ΔL_{LWA} em dB é idêntico ao valor numérico do limite de desvio do nível de potência sonora em dB (A). Desvios negativos são permitidos

CAP. IV – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA E FINANCEIRO DO PROJECTO DO LABORATÓRIO DE ENSAIOS

Em complemento aos capítulos já desenvolvidos ao longo desta redacção, este quarto capítulo visa analisar e determinar a viabilidade económica e financeira de uma futura instalação de ensaios de certificações de Unidades de Tratamento de Ar em território português. Esse estudo será feito com base nas situações actuais das empresas portuguesas, do sector de produção e distribuição de equipamentos para indústria AVAC.

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Gitman (2001) na análise de qualquer projecto se faz necessária uma abordagem de viabilidade económica e financeira, antes de ser tomada qualquer decisão.

Por definição uma análise financeira representa a capacidade de avaliar a rentabilidade de um projecto, tendo em vista, em função das condições actuais e futuras, verificar se os capitais investidos são remunerados e ressarcidos de modo que as receitas geradas superem as despesas de investimento e funcionamento realizados num certo período de tempo. E apresenta como objectivo principal melhorar o valor do quer que esteja sendo estudado. Mas, muitas das vezes estas análises assentam em opiniões individuais a respeito do que afecta o valor de um projecto e, frequentemente, baseados apenas em critérios como custo, qualidade ou confiabilidade, conduzindo a decisões menos precisas. É de realçar que uma decisão que melhore a qualidade, mas que aumente o custo a um projecto, que deixa de ser economicamente viável, é tão inaceitável quanto uma decisão que diminua o custo em detrimento da qualidade ou desempenho.

A gestão da mudança, necessária para qualquer empresa aumentar e garantir a competitividade no seu mercado de actuação, constitui uma tarefa difícil. No entanto, quanto mais bem sucedida se torna a empresa na sua gestão de mudança, maior capacidade terá de atender as necessidades de seus clientes e do seu mercado, de diminuir as ineficiências e desperdícios, controlando melhor os custos da sua actividade.

4.2 MERCADO NACIONAL DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIA AVAC

Na área de produção e comercialização de equipamentos para indústria AVAC, o mercado nacional tem a destacar empresas como: Sandometal (<http://www.sandometal.pt/>), EVAC (<http://www.evac.pt/>), Relopa (<http://www.relopa.pt/>), Metec (<http://www.metec.pt/>). Pelas mensagens de apresentação e motivação ao público-alvo, percebe-se que há uma preocupação constante de prestar mais e melhores serviços.

As empresas portuguesas do sector da produção e distribuição de unidades de tratamentos de ar e, não só, têm como concorrentes principais, as empresas internacionais e, maioritariamente europeias. Tendo como objectivo principal conceber os seus produtos para as diferentes necessidades, nomeadamente pelo grande relevo da incidência climática no projecto dos equipamentos, é de vital importância ter e dar a garantia de que os seus produtos vão ao encontro das expectativas dos clientes e também das normas e requisitos pré-estipulados.

As empresas portuguesas vêm registando evoluções e um aumento das suas capacidades a nível competitivo, explicada pela constante preocupação na disponibilização de produtos inovadores, com os padrões de qualidade ao melhor nível e um preço competitivo. Pelo que um dos factores, se não o essencial é, sem dúvida, o sucesso e a aprovação dos parâmetros e das características do funcionamento e desempenho dos seus equipamentos (unidades de ar).

O aumento da competitividade tem um preço. No caso das empresas do sector de nacional de produção e comercialização de equipamentos para indústria AVAC, a garantia da satisfação e adequação às normas dos requisitos catalogados pelos fabricantes é assegurado pela comissão de certificação de unidades de tratamento de ar, designado de Eurovent (<http://www.eurovent-certification.com/>). Este organismo exige que a série a ser certificado deve incluir pelo menos uma unidade cuja capacidade nominal de caudal seja inferior ao seu limite máximo, que é actualmente de 25.000m³/h (equivalente a 7m³/s) e, sendo mais habitual executar testes de aprovações a unidades de ar com caudal nominal de 5.000m³/h. Variando a frequência de certificação, obrigatória, conforme a empresa possuir ou não o certificado ISO 9001. Para casos de empresas com certificado ISO 9001 é obrigatório, de cinco em cinco anos, apresentar todos os tipos da envolvente para o ensaio estrutural e, de três em três anos a unidade com os componentes para ensaio do desempenho. Em caso de a empresa não possuir o certificado ISO 9001 a frequência dos ensaios, obrigatórios, passam a ser anuais quer para estrutura quer para os componentes e a máquina.

É de conhecimento actual, que os ensaios de certificações são feitas nos laboratórios da Eurovent, fora de Portugal, o que acarreta custos variados desde dos técnicos, transporte e segurança da mercadoria e os custos de ensaios em si.

Tendo em conta os custos de ensaios e a obrigatoriedade da sua execução, levou à realização deste estudo do, projecto de um laboratório de ensaios de UTAs em Portugal, a sua viabilidade económico-financeira, de forma a demonstrar a importância e confiabilidade da indústria portuguesa de produção e comercialização de equipamentos de tratamento de ar.

4.3 FASE DE ORÇAMENTO

O orçamento é um processo multi-cíclico que culmina no equilíbrio entre os objectivos estratégicos, as iniciativas e meios financeiros adequados à execução do mesmo. Um orçamento equilibrado pressupõe realismo, no sentido de não ser demasiado irreal e inatingível, o que implica uma grande sensibilidade de quem o elabora. Nota-se que a sensibilidade enquanto virtude, não consta nos manuais e, embora não haja um valor percentual para definição do limite prévio do desvio do orçamento, a deriva da curva da experiência e da intuição serão decisivas na resolução de problemas resultantes do orçamento, nomeadamente no combate aos vícios orçamentais e na interpelação dos desvios que possam ocorrer. Mas, os valores de desvios carecem de uma justificação, de forma a motivar uma melhor avaliação e implementação estratégica de projectos, por parte de empresas e investidores.

Antes da elaboração de um projecto de investimento em si, impõe-se um proceder a todo um trabalho de análise de circunstância, visando a formalização de ideias concretas acerca do projecto, para tomadas de decisões. O primeiro ponto será quantificar o custo inicial de investimento, baseando sobretudo nas aquisições a serem feitas: equipamentos necessários para montagem e execução dos ensaios, nos custos com o pessoal que fará parte da estrutura funcional do laboratório e nos custos relativos a acreditação e certificação do laboratório.

4.3.1 Custos de investimento e custos actuais de ensaios

Para o presente projecto de laboratório de ensaios, os vários equipamentos a destacar são os referenciados nas normas e de ensaios e de certificação de UTAs, a EN 13053 e a EN 1886. E a quantificação dos custos destes equipamentos é feita com base nos referências dos catálogos de empresa de instrumentação e medidas, neste caso a Testo e Omega.

Tabela 12. Estimativa de custos de equipamentos de ensaios e medições, para a quantificação do custo de investimento inicial

Equipamentos	Produto	Referência	Preço [€]	Variável (eis) de medição
Sonómetro	Testo 815	0563 8155	243	Nível sonoro
Manómetro de pressão	Omega	PGS-25L-15	340	Pressão
Anemómetro térmico	Testo 425	0560 4251	445	Caudal; Velocidade e Temperatura
Termo higrómetro	Testo 625	0563 6251	240	Humidade e Temperatura
Termómetro de Infravermelho	Testo 830 – T1	0560 8301	120	Temperatura
Termopares	Omega	XC-14-K-12	450	Temperatura
Dinamómetro	Testo 465	0563 0465	201	Velocidade de rotação
Extensómetro	Omega	LCL-040	1600	Deflexão
Tubo de Pitôt	Omega	6352345	320	Caudal e velocidade

Aos custos dos equipamentos destacados na tabela 12, ainda falta incluir os custos dos equipamentos de aquisição, perfazendo um total de perto de 15.000€.

Além dos custos de aquisição dos equipamentos, a sua calibração e manutenção, existem outros custos, também muito importantes, que carecem destaques e quantificação durante a fase do orçamento. Esses custos incluem:

- Custos de aluguer de espaço (escritório e laboratório) e o custo com o pessoal
- Custo de acreditação do laboratório de ensaios

I – Custo de aluguer de espaço e custo com o pessoal

O custo de aluguer de espaço figura-se difícil de quantificar, pois depende de entre vários factores, do tamanho, da localização. A título de exemplo e, para o orçamento pode se considerar um armazém com uma área útil de 320m², com espaço para escritório, e uma renda mensal não inferior a 1.000€.

Na quantificação do custo com o pessoal, destacam-se:

Responsável de laboratório – preferentemente pessoas com experiência Profissional, o que implica um contrato de trabalho e custos mensais a rondarem os 1.500€ a 2.500€.

Estagiários profissionais – embora o contrato seja mais barato, estes não têm experiência Profissional. Por isso a sua contratação ou não para o cargo depende da estrutura do laboratório. Para este tipo de contrato o valor mensal representaria um valor equivalente a 2xIAS. Onde IAS representa o Indexante dos Apoios Sociais (IAS), que actualmente tem o valor mínimo mensal de 419,22€, para o nível mais baixo que é a Licenciatura.

Bolsa de investigação – a Fundação para a Ciência e a Tecnologia, FCT, apresenta, para o ano 2009/2101, para um Doutor um valor mensal que ronda os 1450€, para um Mestre um valor de 980€ e, para um licenciado ou Bacharel uma valor de 745€/mês.

Nota: Para o caso da bolsa de investigação a lei nº53-B/2009, de 29 de Dezembro, aos valores mensais junta-se o chamado Seguro Social de Voluntário (SSV), correspondente a 20% do IAS em vigor, que para 2010 são 419,22€, dando um SSV de 83,8€/mês.

Ainda na quantificação do custo com o pessoal há que integrar a parte dos administrativos – podendo ser também estagiários profissionais, cujo valor mensal seria de 2xIAS. Corresponde a 838,44€, segundo as indicações em vigor para 2010.

Toda a actividade de investigação e desenvolvimento carece de um responsável de qualidade, integrado na estrutura, para a realização dos controlos internos e periódicos. Para o cargo de responsável da qualidade é deve destacada uma pessoa com experiência profissional, o que implica um contrato de trabalho e custos mensais a rondarem os 1.500€ a 2.500€.

II – Custo de acreditação e certificação do laboratório de ensaios

A acreditação consiste no reconhecimento da competência técnica de entidades para executar actividades como: ensaios, calibração, certificação e inspecção. A acreditação enquadra-se no Subsistema da Qualificação do Sistema Português da Qualidade (SPQ) constituindo-se como o regulador dos processos e agentes de avaliação de conformidade. A acreditação é diferente da certificação, por não exigir um sistema de qualidade, mas requer a necessária competência técnica para garantir a confiança nos resultados e produtos das actividades acreditadas. (Fonte: Instituto Português de Acreditação)

O Instituto Português de Acreditação tem disponíveis dados e valores para o cálculo dos preços de avaliações tendo em conta diversos factores, seja o número de avaliadores usados, a duração e a natureza das avaliações, a dimensão do âmbito de acreditação e o número de deslocações.

Sabendo o numero de ensaios a acreditar é possível estimar os custos de instrução de processo, custo de auditoria de concessão, renovação e extensão, custo de acompanhamento e custo de seguimento.

No presente caso, pretende-se estimar o custo de acreditação de 2 ensaios: estrutural e térmico. De acordo com a metodologia de cálculo e parâmetros aplicáveis, publicada no despacho MIE 85/89 e os despachos IPQ 98/96 e 102/96, o Instituto Português de Acreditação fez uma tabela com os valores relativos a cada tipo de auditoria.

Para números de ensaios até 10:

Instrução de processo: 686,90€

Auditoria de concessão, renovação e extensão (1 deslocação), para dois auditores e durante um dia: 2.316,60€

Auditoria de acompanhamento (1 deslocação), para dois auditores e durante um dia: 1.993,32€

Auditoria de seguimento (1 deslocação), para dois auditores e durante um dia: 1.750,86€

Nota: segundo informação patente no site do Instituto Português de Acreditação (<http://www.ipac.pt/docs/documentos.asp>), o regulamento de preços não esta sujeita a qualquer desconto ou acréscimo de quantidade ou natureza e, todos os valores são apresentados em € aos quais acresce IVA à taxa legal aplicável.

Para os custos de certificação do laboratório, pela *Eurovent Certification*, considera-se um valor aproximado de 10.000€.

No que diz respeito a custos actuais de ensaios de certificação, realizados no estrangeiro, segundo informação disponibilizados na Alemanha. Os dados disponíveis apontam para valores perto dos 8.000€ para ensaio de uma UTA, incluindo os gastos com transportes e o ensaio em si.

4.4 AVALIAÇÃO DO PROJECTO DO LABORATÓRIO

Para avaliação de económica de um investimento, um dos parâmetros mais importante é o Valor Líquido Actual (VLA), pois representa o valor actualizado para instante inicial de todos os fluxos monetários (positivo ou negativo) do investimento. Mas para a determinação do VLA são necessários quantificar os restantes parâmetros base para análise de investimento: capital a investir, *Cash-flow* de exploração, taxa de actualização, entre outros.

Capital a investir: considera-se o que o financiamento deste projecto será feito com 20% de capital próprio, a uma taxa de juro igual à taxa média de inflação anual de 5% e os restantes 80% por capital alheios, a uma taxa de juro anual efectiva global de 10%.

Custo inicial de investimento (I_0): 30.000€. Considerando integrados os custos de instrução processo de processo, auditoria de concessão e aquisição dos equipamentos (medição e aquisição de dados) e, custos de certificação do laboratório pela Eurovent.

Taxa de impostos e Derramas (t_i): 26,5%. Para a quantificação das taxas de impostos, considera-se o valor base publicado no Orçamento de Estado para 2010. E as Derramas, correspondente à taxa máxima aplicada em Coimbra. (Direcção Geral de Impostos)

Valor base de um ensaio: 8.000€/UTA³

Custo anual máximo (D) – este custo inclui o custo com o pessoal e outros custos que a seguir são demonstrados.

Para a previsão do custo anual, consideram-se os valores mínimos mensais, anuais, conforme o período usado para análise. E, na quantificação dos custos com pessoal, são considerados parcelas relativas a um ensaio com duração de uma semana, parcela da segurança social (pago pela entidade patronal) a uma taxa de 23,5% e seguro de acidentes no trabalho a uma taxa de 10% do salário mensal.

Custo total com o pessoal: valor ascende os 30.000€/ano, considerando incluído os subsídios de alimentação, salários, seguros e ainda considerando que o pessoal só está em

³ Valor referência de um ensaio de uma UTA, praticada actualmente. Valor considerado com base em testemunho de empresa de produção e comercialização de equipamentos para indústria AVAC.

serviço pleno do laboratório durante a semana que dura um ensaio e não necessariamente o mês inteiro no laboratório.

Tabela 13. Outros custos anuais do laboratório.

Item	Custos mensais [€/mês] x 12 meses/ano
Aluguer do espaço	1.000 X 12
Electricidade	20 X 12
Telefone + comunicações (internet, selos e correios)	100 X 12
Água	100 X 12
Limpeza (pelo menos uma vez por semana)	100 X 12
Contabilista	150 X 12

Assim, contabilizando os custos com o pessoal e outros custos de exercícios, as despesas totais previstas ascendem os 40.000€ anuais.

A análise do projecto de investimento pode ser abordada segundo duas vertentes:

Vertente 1: Análise por preços de ensaios, considerando um número fixo de ensaios anuais – desta forma o objectivo seria determinar, para um número de ensaios fixo, o preço mínimo de cada ensaio que viabilize o projecto de investimento.

Vertente 2: Análise por número de ensaios, considerando um preço de ensaio fixo – objectivo seria determinar o número mínimo de ensaios anuais a executar de modo a tornar viável o investimento.

Para a avaliação do projecto do laboratório, uma vez que se conhece o custo de um ensaio de uma UTA, vai se optar pela primeira vertente, isto é determinar em que condição permitiria baixar o preço dos ensaios.

Previsão das receitas anuais – a previsão é feita com base num número de ensaios de modo a baixar os custos actuais.

Situação 1. Realizando 10 ensaios anuais

$$R = 10 \times P_E \quad [€/ano]$$

Considerando P_E o preço de um ensaio de uma UTA.

Impostos máximo a pagar – para a quantificação dos impostos máximos a pagar, usa-se a seguinte relação:

$$IRC = t_i \times (R - D) \Rightarrow IRC = 0,265 \times (10 \times P_E - 40.000) \quad [€/ano]$$

Cash-flow anual do investimento: Tendo em conta os custos apresentados (D), as receitas (R) e a previsão dos impostos anuais, passa-se à determinação do *Cash-flow* anual de investimento, pela equação:

$$\begin{aligned} CF &= R - D - IRC \Rightarrow CF = 10 \times P_E - 40.000 - 0,265 \times (10 \times P_E - 40.000) \\ &\Rightarrow CF = 3,75 \times P_E - 29.400 \quad [€/ano] \end{aligned}$$

Valor Líquido Actual do projecto: considerando-se que o laboratório só terá como fonte de rendimento, apenas os ensaios realizados, e esteja sujeita a uma taxa de impostos (IRC+Derrama) de 26,5% e que o capital próprio é pago a uma taxa de juro igual à taxa média de inflação anual de 5% e o capital alheio, a uma taxa de juro anual efectiva global de 10%, a taxa de actualização do capital i será:

$$i \approx P_p \times i_p + P_a \times i_a \times (1 - t_i) \Rightarrow i = 0,20 \times 0,05 + 0,80 \times (1 - 0,265) \Rightarrow i = 0,07 / ano$$

Onde representam, p_p capital próprio investido e i_p a respectiva taxa de actualização de capital e, p_a capital alheio investido e i_a a respectiva taxa de actualização de capital.

Assim, como o $CF_k = const.$ e, considerando uma horizonte temporal do projecto de 7 anos, ao fim das quais se prevê que os equipamentos (equipamentos de laboratório) adquiridos valem 20% do preço de aquisição, $VR = 3.000€$.

$$VLA = CF \times \frac{(1-i)^k - 1}{i \times (1-i)^k} - \sum_{k=0}^n \frac{I_k}{(1-i)^k} + \frac{VR}{(1+i)^k} \quad (12)$$

Em que, I_k representa o investimento feito no ano k , a taxa i a taxa de actualização de capital.

$$VLA = (3,75 \times P_E - 29.400) \times \frac{(1 + 0,07)^7 - 1}{0,07 \times (1 + 0,07)^7} - \frac{30.000}{(1 + 0,07)^0} + \frac{3.000}{(1 + 0,07)^7}$$

Nestas condições, o preço mínimo a cobrar por cada ensaio, será:

$$VLA = 0 \Rightarrow (P_E)_{\min} \cong 9.300\text{€} / \text{ensaio}$$

Realizando 10 ensaios anuais, não permite baixar o preço actual de ensaio

Situação 1. Realizando 12 ensaios anuais

O preço mínimo a cobrar por cada ensaio seria menor que o pago actualmente, para o acto de certificação, $(P_E)_{\min} \cong 7.800\text{€} / \text{ensaio}$

O período de retorno do projecto: realizando 12 ensaios anuais a um preço de 7.800€, o investimento pode ter retorno num período previsto pela equação:

$$S_k = S_{k-1} + \frac{CF_k - I_k + VR_k}{(1+i)^k} \quad (13)$$

Obtendo, assim:

$$CF = 12 \times 7.800 - 40.000 - 0,265 \times (12 \times 7.800 - 40.000) \Rightarrow CF = 5.700\text{€} / \text{ano}$$

Tabela 14. Período de retorno do investimento

Ano	Saldo do projecto
0	- 30.000€
1	- 24.673€
2	- 19.694,30 €
3	- 15.041,40
4	- 10.693€
5	- 6.630€
6	- 2.830,72
7	+ 2966,45€

Por interpolação linear, entre os anos 6 (saldo negativo) e 7 (saldo positivo) o período de retorno será: **PR = 6,5 anos**

Para melhor se pronunciar sobre a viabilidade do investimento, nas condições até aqui consideradas, ainda falta determinar a **taxa interna de rentabilidade (TIR)**, para as mesmas condições.

A taxa interna de rentabilidade é determinada na pela condição:

$$TIR \rightarrow VLA_0 = CF \times \frac{(1+TIR)^n - 1}{TIR \times (1+TIR)^n} - \frac{I_o}{(1+TIR)^0} + \frac{VR}{(1+TIR)^n} = 0$$

Com $n = 7$ anos, representado o horizonte temporal do projecto. Substituindo os valores, e resolvendo por tentativas:

$$TIR \rightarrow VLA = 0 \Rightarrow 5700 \times \frac{(1+TIR)^7 - 1}{TIR \times (1+TIR)^7} - \frac{30.000}{(1+TIR)^0} + \frac{3.000}{(1+TIR)^7} = 0$$

$$\Rightarrow TIR \cong 0,08 / ano \Rightarrow TIR \cong 8\% / ano$$

Comentários: por mais sofisticado que seja os métodos de análise, há sempre um elevado grau de incerteza associado a todos as alternativas e fundamentalmente aqueles que estão directamente ligados ao comportamento do mercado, como são o exemplo, as taxas de juros e as flutuações.

4.5 CERTIFICAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ENSAIO

Segundo informações disponíveis na página oficial da Eurovent Certifications (<http://www.eurovent-certification.com/index.php.en>), os testes de desempenho, realizados no âmbito de certificação de UTAs, pode ser executado por laboratórios independentes, mas segundo os termos de um contrato definido e certificado pela Eurovent.

Os pedidos da certificação de acreditação dos laboratórios independentes, por parte da Eurovent, devem ser feitas de acordo com a norma ISO 17025. E, os critérios de selecção são a capacidade de ensaios e a dimensão da instalação mas, também, a experiência do pessoal responsável pelo laboratório.

CAP.V – CONCLUSÃO

A realização deste trabalho permitiu perceber a necessidade de uma entidade competente e independente, que compare as características dos produtos, baseando-se em testes e procedimentos bem definidos, de forma a garantir uma justa e saudável concorrência em qualquer mercado, seja ela mais ou menos ampla.

Os programas de certificação criam uma base de dados comum de especificações que possam ser usados em auditorias independentes a quando do processo de certificação. Assim, a selecção de produtos certificados apresenta-se como uma solução simples e fácil para os técnicos e engenheiros de projecto que têm a garantia de que os recursos anunciados nos catálogos responderão às necessidades de cada projecto específico.

Os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos ao longo destes cinco anos de formação, que permitiram a realização de um trabalho deste nível de complexidade.

A realização do presente trabalho permitiu ampliar a noção de projecto, funcionamento, configuração e caracterização de sistemas de tratamento e os respectivos sistemas de distribuição do ar. Foi possível também realçar a importância do bom funcionamento desses sistemas, a influência na saúde dos ocupantes dos espaços climatizados e, até a influência que este poderá ter na economia e na competitividade de uma empresa.

Quanto ao resultado da análise, pode-se concluir que as receitas anuais previstas, levando em conta apenas as empresas portuguesas de produção e comercialização de equipamentos AVAC, só cobrem os custos anuais de exercício (os custos de auditorias, custos com o pessoal), e ainda custos de manutenção e calibração dos equipamentos, bem como os custos dos consumíveis (papeis, tinteiros para impressoras, etc.) e custos inerentes à substituição dos componentes dos equipamentos que possam sofrer danos aquando dos ensaios (exemplos: sondas) se forem realizados 12 ensaios anuais a um preço mínimo de 7.800€ por cada ensaio.

Conclui-se, também, que para as condições analisadas, é possível baixar o preço de ensaios, e que o projecto de investimento apresenta um valor líquido actual baixo, um período de retorno muito próximo do período de amortização e uma taxa interna de rentabilidade, muito próximo do custo de capital.

BIBLIOGRAFIA

WANG, SHAN K. (2000). Handbook of Air Conditioning and Refrigeration (2nd ed.), *The McGraw-Hill Companies, Inc.*

GAMEIRO DA SILVA, MANUEL CARLOS (JUNHO DE 2004). Curso de Actualização em Segurança Higiene e Saúde no Trabalho – *Qualidade do ar Interior*. DEM, Coimbra.

KREIDER, JEAN F. (2001). Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning, by *CRC Press LLC*.

ASHRAE Handbook (2008). HVAC Systems and Equipment. *Air handling and distribution*, SI Edition

GITMAN, L. J. *Princípios de Administração Financeira*. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MCQUISTON, FAYE C. PARKER, JERALD D. & SPLITER, JEFFREY D. (2005)– Heating Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design. 6th edition, *John Wiley & Sons, Inc.*

COSTA, JOSÉ J. (2009). *Equipamentos e Sistemas de AVAC mais relevantes para a Qualidade do Ar Interior*, Cursos SCE – Modulo RSECE – QAI. DEM, Coimbra.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. Políticas de Ambiente - *Qualidade de Ar Interior e Auditorias e requisitos da Qualidade do Ar Interior*. Abril de 2010, em: <http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Ar/QualidadeArInterior/AuditoriasRequisitosQA/I/Paginas/default.aspx>

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE SA, PORTUGAL (ABRIL DE 2010). *Quality of the Indoor Environment*. Abril de 2010, em: http://www.pt.sgs.com/pt/quality_of_the_indoor_environment.htm?

MACHADO, JOSÉ EDUARDO (IETEC). *Análise de viabilidade económico-financeira de projecto*, Instituto de Educação Tecnológico, em: http://www.ietec.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/42.

EUROVENT (Maio de 2010). Certified Performance, em: <http://www.eurovent-certification.com>.

INSTITUTO PORTUGUÊS DE ACREDITAÇÃO, IPac – regulamento de preços (2009-15-04), em: <http://www.ipac.pt/docs/documentos.asp>.

FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E TECNOLOGIA, FCT – Valores de bolsa de formação avançada. Subsídio mensal de manutenção, em: <http://alfa.fct.mctes.pt/apoios/bolsas/valores>.

PORTAL DO CIDADÃO, Indexantes dos apoios Sociais (IAS) – Descrição, em: http://www.portaldocidadao.pt/PORTAL/entidades/MTSS/DGSS/pt/SER_indexante+dos+apoi+os+sociais++ias.htm.

OMEGA Engineering Process Measurement and Control Products, em:
<http://www.omega.com/products.html>.

TESTO, Sectores e Produtos – VAC, em: [http://www.testo.pt/online/abaxx-
?\\$part=PORTAL.PRT.HomeDesk&\\$event=show-from-menu&categoryid=64085973](http://www.testo.pt/online/abaxx-?$part=PORTAL.PRT.HomeDesk&$event=show-from-menu&categoryid=64085973)

ANEXOS

ANEXO A (INFORMATIVO) – NORMAS ISO E EN RELACIONADAS COM UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR

EN 779:2002, *Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance.*

EN 13779, *Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.*

EN 12097:2006, *Ventilation for buildings – Ductwork – Requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems.*

EN ISO 3741, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation rooms (ISO 3741:1999).*

EN ISO 3744, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods in an essentially free field over a reflecting plane (ISO 3744:1994).*

ISO 5801:1997, *Industrial fans — Performance testing using standardized airways.*

ANEXO B – ENSAIOS DE FUGAS NOS FILTROS – CASOS PARTICULARES

Na secção 3.2.3 foi introduzido os passos genéricos, de ensaio de fugas nos filtros. Nesta secção serão abordados outros casos particulares, como os ensaios de unidades com filtros a montante ou a jusante do ventilador ou, ainda, unidade providas de recuperador de calor.

B1 – Filtros a jusante do ventilador

A secção de entrada do filtro deve ser coberta por placas herméticas e a saída sem qualquer obstrução. O ensaio deve ser executado em dois estágios a pressão positiva de 400Pa.

Primeiro estágio: **Determinar a fuga total, q_{lt}**

$$q_{lt} = q_{lf} + q_l \quad (B1)$$

Onde

q_l – Soma das fugas através da estrutura.

q_{lf} – Soma das fugas através das juntas entre as células de filtro e a estrutura

E, a medição do caudal volúmico deve ser feita com recursos a placas de obturação em substituição das células de filtro.

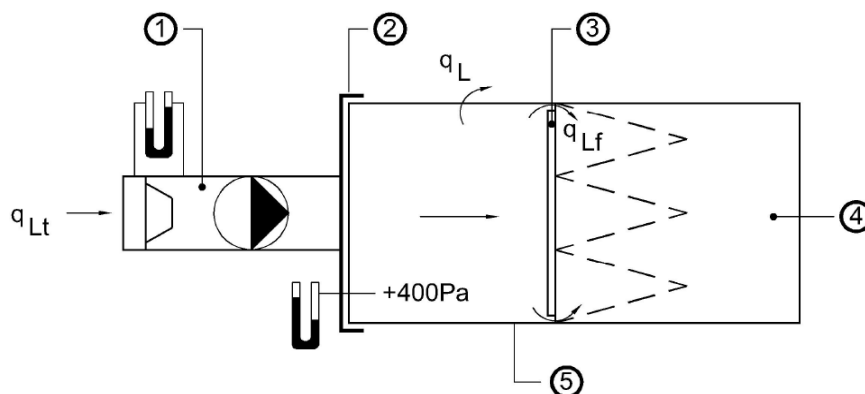


Figura B- 1. Montagem de unidade para ensaios de estruturas com filtros a jusante do ventilador – Primeira etapa. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Aparelho de medição de fugas
- 2 Secção de entrada
- 3 Células de filtro (substituído por placas de metal)
- 4 Secção dos filtros
- 5 Invólucro da unidade

Segundo estágio: **Determinação das perdas através da estrutura,** q_l – quantificada pela eliminação de todas as fugas possíveis ao longo das células de filtro.

$$q_{lf} = q_{lt} - q_l \quad (B2)$$

Onde

q_{lf} – Soma das fugas através das juntas entre as células de filtro e a estrutura

q_{lt} – Fuga total

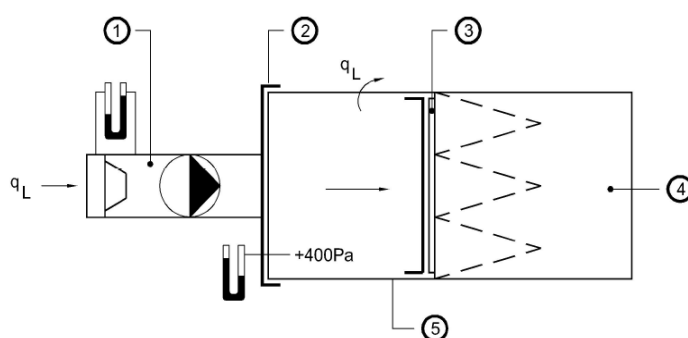


Figura B- 2. Montagem de unidade para ensaios de estruturas com filtros a jusante do ventilador – Segunda etapa. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Aparelho de medição de fugas
- 2 Secção de entrada
- 3 Células de filtro (substituído por placas de metal)
- 4 Secção dos filtros
- 5 Invólucro da unidade

B2 – Filtros localizados a montante do ventilador – pressão negativa

Para o ensaio, a secção do filtro cuja pressão é negativa, à saída do filtro, deve ser coberto por placas de metal. E a montagem para o ensaio como demonstrado em B-3.

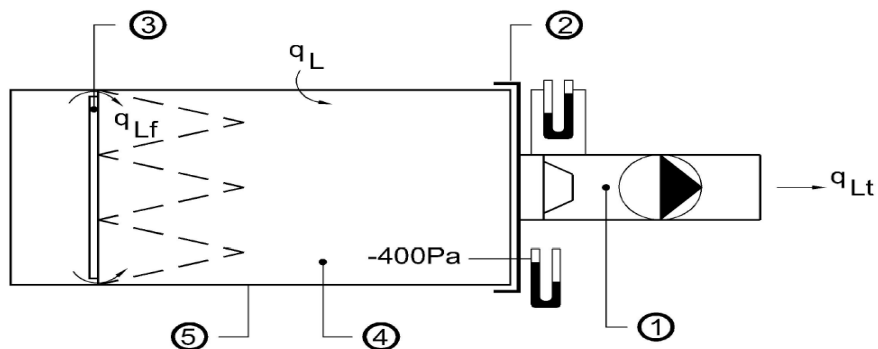


Figura B- 3. Montagem para teste de unidade com filtro a montante do ventilador.
(Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Aparelho de medição de fugas
- 2 Secção de entrada
- 3 Células de filtro (substituído por placas de metal)
- 4 Secção dos filtros
- 5 Invólucro da unidade

B3 – Unidades providas de recuperador de calor

Procedimento:

- Ligar o ventilador de pressurização na abertura do lado que não contém filtro, a ser testada, e fechar todas as outras aberturas.
- Ligar um outro ventilador, posicionado do lado do filtro em teste
- Regular a pressão a jusante do filtro a 400Pa negativa, pela diferença de $\pm 5\text{Pa}$ entre os dois lados de ar.

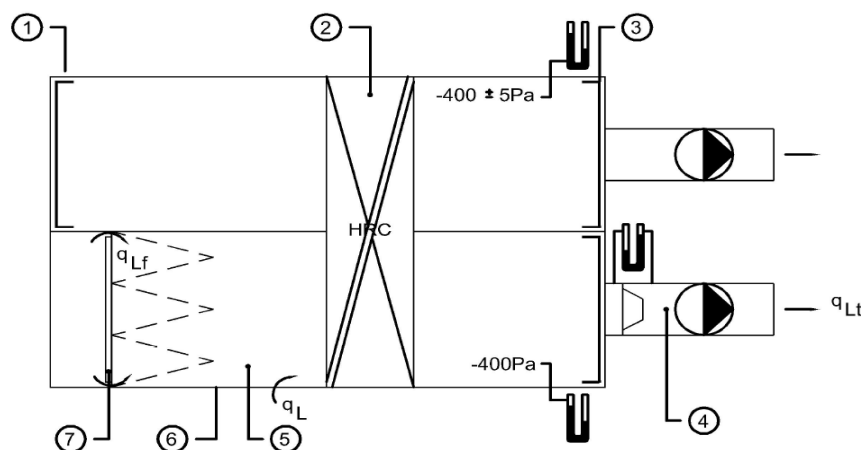


Figura B- 4. Montagem para teste de unidade com recuperador de calor.
(Adaptado de: EN 1886:2007)

Legenda:

- 1 Secção de entrada
- 2 Recuperador de calor
- 3 Placa de saída
- 4 Aparelho de ensaio de fuga
- 5 Secção dos filtros
- 6 Invólucro da unidade
- 7 Células de filtro (substituído por placas de metal)

Nota: A fuga total é quantificada com auxílio da equação B1 e, os modelos têm de ser ensaiados com filtro a jusante (pressão positiva) e a montante (pressão negativa) do ventilador. E, para uma melhor interpretação das figuras, devem ser especificadas somente as fugas através do filtro.

ANEXO C – CORRECÇÃO NA EXTREMIDADE DA CONDUTA PARA ATENUAÇÃO DO RUÍDO TRANSMITIDO

O cálculo da correcção na extremidade da conduta depende da geometria da sua extremidade e deve ser determinada para cada banda de frequência e adicionada a cada nível de potência sonora correspondente. Para conduta que termina a uma distância maior ou igual a um diâmetro efectivo da parede da sala ou espaço livre, a correcção aplicada deverá ser calculada pela seguinte relação:

$$L_e = \frac{10}{g \cdot \left[1 + \left(\frac{c}{\pi f d} \right)^{1,88} \right]} \quad (C1)$$

E para conduta com extremidade a uma distância inferior a um diâmetro efectivo da parede da sala ou espaço livre, a correcção aplicada deverá ser determinada pela seguinte relação:

$$L_e = \frac{10}{g \cdot \left[1 + \left(\frac{0,88 \cdot c}{\pi f d} \right)^{1,88} \right]} \quad (C2)$$

Onde

f – Frequência, Hz

c – Velocidade do som no ar, m/s

d – Diâmetro efectivo, m

E,

$$d = \left(\frac{4 \cdot A_c}{\pi} \right)^{1/2} \quad (C3)$$

Com, A_c – área da secção recta da conduta, m²

ANEXO D (INFORMATIVO) – DISPOSIÇÃO E REQUISITOS PARA VENTILADORES DE CIRCULAÇÃO

Dependendo do volume e do comprimento da caixa modelo da unidade a ensaiar e, a fim de alcançar o número necessário de renovações de ar na caixa modelo devem ser montados 4, 6 ou 8 ventiladores para circulação.

Caso 1: Montagem com 4 ventiladores

Volume interno $\leq 4\text{m}^3$ e comprimento da caixa do modelo $\leq 4\text{m}$.

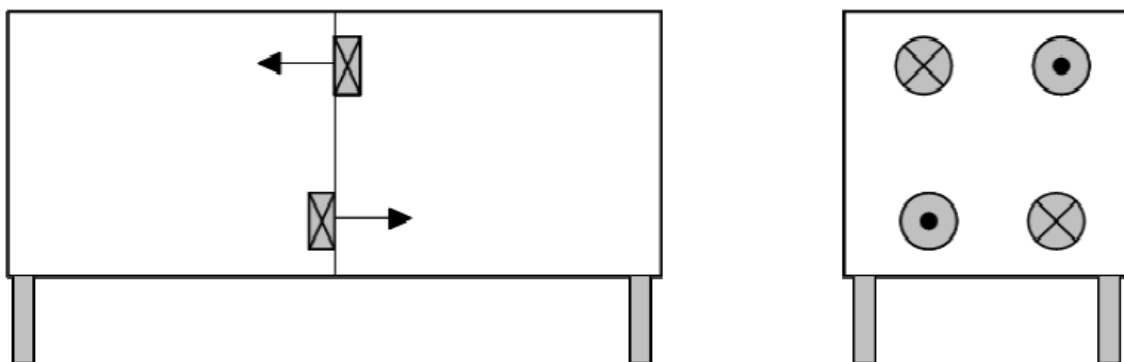


Figura D-1. Arranjo com 4 ventiladores, princípio. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Caso 2: Montagem com 6 ventiladores

Volume interno $\leq 6\text{m}^3$ e comprimento da caixa do modelo $\leq 4\text{m}$.

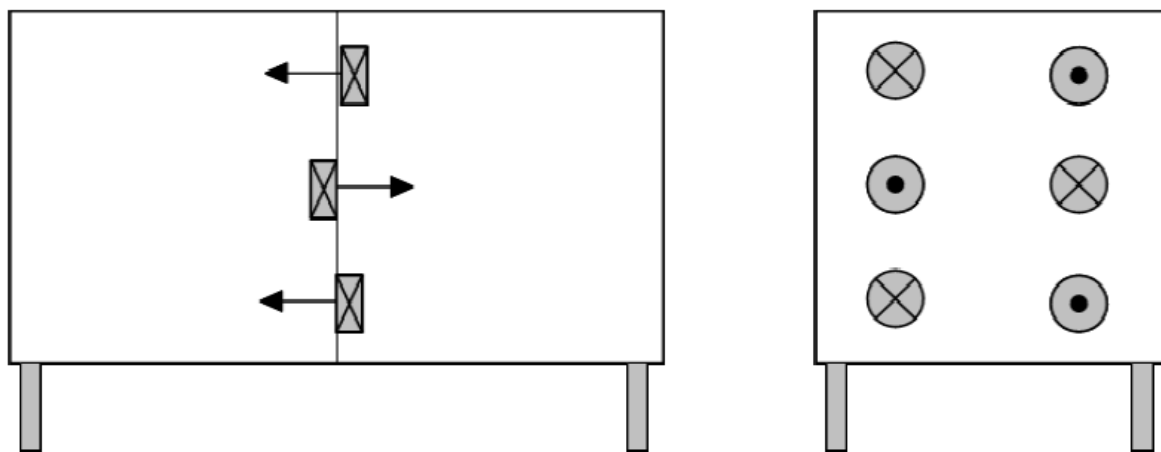


Figura D-2. Postulado do arranjo com 6 ventiladores. (Adaptado de: EN 1886:2007)

Caso 3: Montagem com 8 ventiladores

Volume interno $>6\text{m}^3$ e comprimento da caixa do modelo $>4\text{m}$.

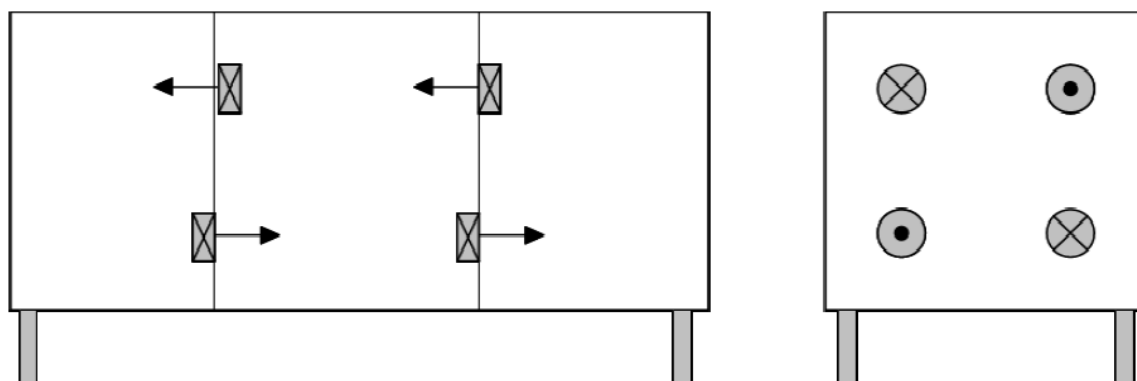


Figura D-3. Arranjo básico com 8 ventiladores (*Adaptado de: EN 1886:2007*)

Os ventiladores devem ser montados no mesmo plano (no meio da unidade ou entre as zonas), distribuídos igualmente ao longo da secção transversal da caixa, conforme indicado nas figuras D. O limite de descarga do ventilador ou acessórios deverá coincidir com o plano de montagem. A direcção do caudal deve ser mantida conforme indicada.

O ventilador de circulação deve ter um diâmetro de descarga entre 150mm e 160mm, ou ser equipado de uma peça de transformação no terminal, garantindo o caudal requerido.

A velocidade de saída através da descarga deve ser uniforme ($V_{máx} \leq 2 \cdot V_{méd}$); Se necessária aplicar uma resistência artificial, por meio de uma placa. E, qualquer tipo de ventilador que satisfaça os requisitos especificados, pode ser usado no ensaio.